

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИКИ ТА АКУСТОЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С.
(підпис)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації): 171 Електроніка

на тему: «Дослідження особливостей приміщень для багатоцільового призначення»

Виконав: студент VI курсу, групи ДГ-з71мп

Гайдаєнко Владислав Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник доц. каф. АтаАЕ, к.т.н., доц. Богданова Н.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____

(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент доц. каф. ЗТ та РТ, к.т.н., доц. Трапезон К.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018р.

**Завдання на магістерську дисертацію
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) факультет електроніки

Кафедра акустики та акустoeлектроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 171 Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С.
(підпис)

«_____» _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Гайдаєнку Владиславу Геннадійовичу**

1. Тема дисертації «Дослідження особливостей приміщень для багатоцільового призначення»

Керівник дисертації доцент Богданова Наталія Володимирівна

Затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018р. № 4114с.

2. Термін подання студентом дисертації: 9.12.2018 р.

3. Об'єкт дослідження: приміщення для багатоцільового призначення

4. Вихідні дані: приміщення прямокутної форми довжиною 12м, шириною 6м та висотою 3м.

Приміщення знаходиться на першому поверсі багатоповерхового будинку поблизу автомобільної дороги.

5. Перелік завдань:

5.1. Проаналізувати загальне поглинання та час реверберації у вибраному приміщенні.

5.2. Проаналізувати можливість перетворення даного приміщення під кафе, офіс та лекційного залу.

5.3. Провести необхідні перетворення у приміщенні.

6. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): Презентація в середовищі MS Power Point

7. Орієнтований перелік публікацій:

1) Богданова Н.В., Гайдаєнко В.Г., Пономаренко В.А., Фурсенко В.В. Принцип построения и расчет помещения для домашнего кинотеатра. East European Scientific Journal. #10(38), 2018 part 2, Рр. 14-21

2) Богданова Н.В., Фурсенко В.В., Пономаренко В.А., Гайдаєнко В.Г. Компьютерное моделирование системы излучателей в виде двойного линейного массива. East European Scientific Journal. #10(38), 2018 part 2, Рр. 67-72.

3) Богданова Н.В., Фурсенко В.В., Пономаренко В.А., Гайдаєнко В.Г. Проблемы создания и акустического расчета современных домашних кинотеатров. East European Scientific Journal. #10(38), 2018 part 2, Рр. 73-79.

4) Гайданко В.Г. Проектування багатоцільового приміщення для масових заходів. І Всеукраїнська науково-технічна конференція сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем. Тези доповідей 26-28 листопада 2018 р. м. Київ. С. 15-17

8. Дата видачі завдання: 01.09.2018

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та вивчення джерел інформації для написання дипломної роботи; складання бібліографії наукових джерел	13-27.09.2018	
2	Складання плану дипломної роботи	28.09-06.10.2018	
3	Підготовка та написання першого розділу	07-20.10.2018	
4	Підготовка та написання другого розділу	21.10-26.10.2018	
5	Підготовка та написання третього розділу	26-07.11.2018	
6	Підготовка та написання четвертого розділу	07-14.11.2018	
7	Написання анотації, вступу, розділу стартапу та висновків	15-30.11.2018	
8	Виправлення зауважень	16-22.05.2018	
9	Оформлення дипломної роботи	02.12-7.12.2018	
10	Здача оформленої роботи на кафедрі	14.12.2018	
11	Захист дипломної роботи	19.12.2018	

Студент

(підпис)

Гайдаєнко В.Г.

Керівник роботи

(підпис)

Богданова Н. В.

Анотація

Дисертація містить основну частину на 72 аркушах, 29 ілюстрацій та 6 таблиць.

Проведені розрахунки часу реверберації та підібрано оздоблення. Правильність підтверджують графіки часу реверберації та фонду поглинання. Під час розрахунків акустичних параметрів приміщення для клубу виникла потреба в інженерному вирішенні проблем, пов'язаних з тим, що приміщення має малі розміри, а також не проектувалося для даного цільового використання.

Розраховане акустичне оформлення дозволяє добитися якісного звучання музики і достатньої розбірливості мови.

Вжиті заходи щодо посилення звукоізоляції розважального комплексу з ціллю захисту його від вуличного шуму і, головне, захисту житлових приміщень від підвищеного рівня звуку в приміщеннях комплексу.

Метою наукового дослідження є приміщення прямокутної форми, що знаходиться на першому поверсі багатоповерхового будинку поблизу автомобільної дороги.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання загального поглинання та часу реверберації після перетворення заданого приміщення у багатоцільове призначення.

Ключові слова: звукоізоляційні покриття і матеріали; частотні характеристики ізоляції повітряного шуму; фон поглинання, акустична обробка приміщення; час реверберації.

Summary

The thesis contains the main part on 74 sheets, 57 illustrations and 6 tables.

Calculations of reverb time are made and decorations are selected. Correctness is confirmed by timings of reverberation time and absorption fund. When calculating the acoustic parameters of a room for the club, there was a need for engineering solutions to the problems associated with the fact that the room are small in size and also not designed for this intended use.

Estimated acoustic design allows you to achieve high-quality sound of music and sufficient legibility of the language.

Measures have been taken to strengthen the sound insulation of the entertainment complex with the aim of protecting it from street noise and, most importantly, protecting residential areas from increased sound levels in the rooms of the complex.

The purpose of scientific research is a rectangular room located on the ground floor of a multistory building near the motorway.

The object of the study is the process of measuring the total absorption and reverberation time after the conversion of a premise to a multipurpose destination.

Key words: soundproofing coatings and materials; frequency characteristics of air noise isolation; absorption background, acoustic room processing; reverb time.

Зміст

Оглавление

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1.....	10
1.1. Основні методи розрахунку звукового поля	10
1.2. Фактори, які визначають акустику залів	16
1.3 Критерії акустичної якості залів.....	20
1.4. Форма залів і їх поверхонь.....	22
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ.....	26
2.1. Категорії шумів і норми звукоізоляції приміщень.....	27
2.2. Методи ізоляції шуму.....	29
2.2.1. Акустичні матеріали для звуко- і шумоізоляції приміщень від різних категорій шумів.....	29
2.2.2. Звукоізоляція міжповерхових перекриттів	37
2.2.3. Звукоізоляція стін від повітряного шуму	42
2.2.4. Звукоізоляція віконних блоків і дверей	47
РОЗДІЛ 3. АКУСТИЧНИЙ ПРОЕКТ.....	53
3.1. Первісна акустика приміщення	53
3.2. Акустический проект кафе	55
3.3. Акустичний проект офісу	60
3.4. Акустичний проект лекційного залу	63
3.5. Звукоізоляція приміщень	66
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ	68
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	72

ВСТУП

Проблеми акустики великих закритих приміщень, пов'язані з визначенням умов гарної чутності, належать до числа завдань, поставлених ще за часів класичної давнини. Однак перші успіхи архітектурної акустики датуються лише початком цього століття, коли Уоллес Себін, експериментально встановив один з найважливіших факторів, що визначають акустичну якість аудиторій. Перші практичні успіхи надовго визначили шляхи подальшого розвитку акустики закритих приміщень.

Коли в закритій аудиторії звучить мова, то кожен її склад, який представляє собою короткий звуковий імпульс, доходить до слухача не тільки по прямій лінії, а й по шляхах, багаторазово зламаним завдяки віддзеркаленням звуку від стін, стелі та підлоги приміщення. При кожному відбитті імпульсу від обмежуючих приміщення поверхонь деяка частина звукової енергії поглинається; тому при кожному сказаному складі вухо слухача сприймає послідовний ряд імпульсів з поступово спадною інтенсивністю. Інтервали часу, що відокремлюють один від одного елементи такого ряду, досить малі в порівнянні з тривалістю імпульсу, в зв'язку з чим явище не носить характеру відгуку; не розрізняючи окремі члени серії згасаючих імпульсів, слухач сприймає кожен новий склад мови на занальному фоні низки попередніх складів, ще не встигли відзвучати до моменту проголошення чергового складу. Неважко зрозуміти, що, якщо поглинання звуку невелике, то відгук відбувається дуже повільно, причому наявність ще не відлунувших імпульсів сильно заважає розбірливості чергових складів зв'язного мовлення. У цьому випадку приміщення виявляється надмірно гучним, іноді в такій мірі, що мова стає абсолютно нерозбірливою.

Вищевикладене зберігає своє значення і в застосуванні до приміщень, призначених для слухання музики. Кожен такт музичного твору, кожна

музична фраза являють собою послідовності звукових імпульсів, що піддаються в аудиторії процесу поступового відгуку. Зрозуміло, що при зягнугому відгуку фон, що виходить при суперпозиції ряду повільно затиаючих імпульсів, порушує нормальне сприйняття музики тим сильніше, чим швидше темп музичного твору. На прикладі музики легко усвідомити собі і іншу сторону справи: акустичним дефектом приміщення може з'явитися не тільки надмірна тривалість відгуку, але також і недостатня його тривалість. Дійсно, при дуже швидкому відгуку (тобто при значному поглинанні звуку) музика звучить сухо, втрачаючи ту зв'язність звучання, до якої ми звикли при слуханні концертної музики в якості одного з факторів її естетичного впливу. Певною мірою це відноситься і до слухання мови; хоча при короткому відгуку розбірливість мови цілком задовільна, зате своєрідна млявість її звучання в заглушеному приміщенні відчувається, особливо при сприйнятті художнього слова, як деякий, безумовно, неприємний дефект.

Таким чином, основним завданням архітектурної акустики є дослідження умов, що визначають чутність мови і музики в приміщеннях, і розробка архітектурно-планувальних і конструктивних рішень, що забезпечують оптимальні умови слухового сприйняття. У даній роботі проводиться акустичний розрахунок приміщення, яке знаходиться на першому поверсі житлового будинку. На даному етапі приміщення не має цільового призначення. Тому в даній роботі пропонується три варіанти для його застосування. При цьому розраховуються акустичні якості приміщення для придатності його в різних сферах діяльності. Також розраховується звукоізоляція приміщення.

РОЗДІЛ 1

1.1. Основні методи розрахунку звукового поля

Існуючі методи розрахунку параметрів звукового поля засновані на хвильовій, геометричній і статистичній акустиці [1]. Теорія хвильової акустики розглядає два режими коливань повітряного обсягу: один - як власні затухаючі, інший - як вимушені під дією якого-небудь джерела. В декартових координатах хвильове рівняння для тривимірного простору має вигляд:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad , \quad (1)$$

де p - звуковий тиск в середовищі; c – швидкість звуку; t – час.

Повітряний об'єм приміщення являє собою коливальну систему з розподіленими параметрами, що володіє деяким спектром власних частот. Визначення власних частот коливань просто вирішується лише для прямокутних приміщень з жорсткими огорожувальними поверхнями:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} \quad , \quad (2)$$

де n - параметри; l - розміри приміщення.

Кожній трійці значень цілочисельних параметрів n_x, n_y, n_z відповідає певна частота коливань повітряного обсягу.

Аналіз виразу (2) показує, що в області низьких частот, відповідних малим значенням чисел власні частоти коливань відокремлені один від одного порівняно великими інтервалами, мають дискретну структуру. В області високих частот спектр ущільнюється і число власних коливань швидко збільшується. Якщо розміри приміщення не дуже малі, то власні частоти розташовуються так щільно, що будь-який компонент в спектрі джерела звуку збуджує цілий ряд власних коливань повітряного обсягу з частотами, мало відрізняються від частоти збуджуючої компоненти. Чим менше розміри приміщення, тим в більшому діапазоні частот будуть

спостерігатися резонансні явища і збільшуватися нерівномірність звукового поля. Розрахунок звукового тиску для області середніх і високих частот (при великих значеннях) досить скрутний.

У геометричній акустиці при розгляді відображення звукових хвиль від поверхонь приміщення використовують поняття фронт хвилі і звукові промені (лінії, перпендикулярні фронту хвилі в усіх його точках), які вказують напрям поширення звукової хвилі. Дія відбитих від внутрішніх поверхонь звукових променів часто замінюється дією уявних джерел з відповідним зменшенням їх потужності, пропорційним коефіцієнту відображення цієї поверхні. Уявне джерело звуку розташоване на перпендикулярі до поверхні і на такій же відстані від неї, що і дійсне джерело звуку.

Шлях звукового променя, багаторазово відбитого від граней прямокутного паралелепіпеда, може бути представлений в розгорнутому зображенні в двох або трьох проекціях на площині паралельно граням паралелепіпеда. Знаючи швидкість поширення звуку, можна визначити запізнення одного звукового променя по відношенню до іншого, виявити різні акустичні дефекти приміщень. Така побудова поширення звукових променів називається променевим ескізом [2].

Допустимість застосування геометричної акустики залежить від довжини звукової хвилі, розмірів поверхні, що відбиває і її розташування по відношенню до джерела звуку і вашій місцевості. Відображення звукових хвиль можна вважати спрямованим, якщо найменший розмір відбиваючої поверхні не менше ніж в 1,5 рази перевищує довжину хвилі. При невиконанні цієї умови звукові хвилі розсіюються і побудова відбитих звукових променів втрачає сенс. Для криволінійних поверхонь найменший радіус кривизни повинен бути не менше ніж в два рази більше довжини хвилі. Крім того, геометрична акустика справедлива лише в разі незалежності коефіцієнта віддзеркалення від кута падіння звукового променя.

При незначному звукопоглинанні через кожную точку в об'ємі приміщення одночасно проходить велика кількість відбитих звукових хвиль, що поширюються по всіляких напрямках. Статистична акустика передбачає, що напрямки, амплітуди і фази накладених одна на одну хвиль розподілені більш-менш хаотично, що дає можливість розглядати ці хвилі як некогерентні і вважати, що щільність звукової енергії в кожній точці є сума щільностей енергії кожної з цих хвиль, тобто застосовувати метод енергетичного підсумовування.

Таким чином, статистична теорія акустики заснована на припущенні, що в приміщенні під дією джерела звуку виникає звукове поле, близьке до дифузного, що характеризується тим, що у всіх точках поля усереднені в часі рівень звукового тиску і потік, що проходить по будь-якому напрямку звукової енергії постійні.

Для обліку звукопоглинання приймається величина середнього коефіцієнта звукопоглинання

$$\alpha_{cp} = \frac{A_{обц}}{S_{обц}}, \quad (3)$$

де $S_{обц}$ - сумарна площа огорожувальних поверхонь.

Статистична теорія також розглядає середню довжину шляху між відображеннями, тобто величину середнього пробігу звукової хвилі, що залежить від об'єму приміщення V . Якщо за час t в точку приміщення приходить n відображень, а відрізок часу між двома наступними відображеннями в середньому дорівнює t_1 , то $n = \frac{t}{t_1}$, а середня довжина шляху $l_{cp} = t_1 c$ (c – швидкість поширення звуку). Величина l_{cp} залежить від форми приміщення, однак для практичних цілей може бути прийнята постійною:

$$l_{cp} = \frac{4V}{S_{обц}} \quad (4)$$

Якщо процеси випромінювання й поглинання звуку відбуваються безперервно, то диференціальне рівняння, що описує режим динамічної рівноваги, матиме вигляд [3]:

$$V \frac{d\varepsilon}{dt} = W - A_{\text{общ}}, \quad (5)$$

де ε - щільність звукової енергії; W - потужність, яку випромінює джерело; $A_{\text{общ}}$ - енергія, що поглинається поверхнями приміщення.

Для випадку рівноімовірного приходу звукової енергії в будь-яку точку об'єму з всіх напрямків кількість енергії, що падає на 1 см^2 поверхні в секунду, дорівнює:

$$I = \frac{1}{4} \varepsilon c \quad (6)$$

Величина

$$A_{\text{общ}} = \frac{1}{4} \varepsilon c \alpha_{\text{ср}} S_{\text{общ}} \quad (7)$$

Після підстановки (7) в (6), інтегрування і деяких перетворень можна отримати:

$$\varepsilon = \frac{4W}{c \alpha_{\text{ср}} S_{\text{общ}}} \left(1 - e^{-\frac{c S_{\text{общ}}}{4V} \ln(1 - \alpha_{\text{ср}}) t} \right) \quad (8)$$

Дане рівняння характеризує процес наростання щільності звукової енергії в приміщенні. Він відбуватиметься до тих пір, поки енергія, що випромінюється джерелом звуку не урівноважиться поглинаємою енергією. Величина щільності звукової енергії при $t \rightarrow \infty$ досягне своєї максимальної величини, тобто $\varepsilon = \varepsilon_0$, тоді:

$$\varepsilon_0 = \frac{4W}{\alpha_{\text{ср}} c S_{\text{общ}}} = \frac{4W}{c A_{\text{общ}}} \quad (9)$$

Процес загасання звуку після виключення джерела (реверберация) настане при $W = 0$, тоді:

$$W \frac{d\varepsilon}{dt} = -\varepsilon \frac{c \alpha_{\text{ср}} S_{\text{общ}}}{4} \quad (10)$$

Інтегруючи і підставляючи граничні умови $\varepsilon = \varepsilon_0$ при $t = 0$ отримаємо:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-\frac{cS_{\text{общ}}}{4V} \ln(1-\alpha_{\text{ср}})t} \quad (11)$$

Час, протягом якого відбувається загасання звуку, називається часом реверберації. Цей процес відбувається внаслідок багаторазових відображень звукових хвиль від огорожувальних поверхонь.

В якості еталону прийнято час загасання щільності енергії в 10^6 разів (або зменшення рівня звукового тиску на 60 дБ); цей час називається часом стандартної реверберації.

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = e^{-\frac{cS_{\text{общ}}}{4V} \ln(1-\alpha_{\text{ср}})T} = 10^{-6}$$

або

$$\frac{\alpha_{\text{ср}} S_{\text{общ}} c}{4V} T \lg(e) = 6$$

Звідси

$$T = 0.161 \frac{V}{\alpha_{\text{ср}} S_{\text{общ}}} = 0.161 \frac{V}{A_{\text{общ}}} \quad (12)$$

Тобто час реверберації залежить тільки від об'єму приміщення і еквівалентної площі звукопоглинання в ньому.

Процес наростання рівня відбувається дуже швидко і тому не грає тієї великої ролі в оцінці акустичних якостей приміщень, яку надає процес загасання звуку. Статистичний підхід до оцінки звукових полів має велике значення при вирішенні практичних завдань боротьби з шумом [4].

Так як, $I = \frac{4W}{A_{\text{общ}}}$, то рівень інтенсивності, тобто $L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}$ буде:

$$L_I = L_W - 10 \lg A_{\text{общ}} + 6 \quad (13)$$

При стандартних атмосферних умовах рівень звукового тиску L дорівнює рівню інтенсивності звуку, тому

$$L = L_W - 10 \lg A_{\text{общ}} + 6 \quad (14)$$

Вирази (13) і (14) справедливі для дифузного звукового поля. Зазвичай в приміщеннях можна виділити щільність енергії прямого $\varepsilon_{\text{пр}}$ і відбитого $\varepsilon_{\text{отр}}$

від всіх поверхонь звуку. Тоді загальна щільність звукової енергії в приміщенні буде дорівнювати $\varepsilon = \varepsilon_{np} + \varepsilon_{отр}$.

Щільність звуковий енергії прямого звуку при сферичному випромінюванні на відстані від джерела дорівнює: [3]

$$\varepsilon_{np} = \frac{W}{4\pi r^2 c} \quad (15)$$

Щільність дифузійної звуковий енергії після врахування втрат енергії при першому відображенні звуку від поверхонь

$$\varepsilon_{отр} = \frac{4W}{cS_{общ}} \left(\frac{1 - \alpha_{cp}}{\alpha_{cp}} \right) = \frac{4W(1 - \alpha_{cp})}{cA_{общ}} \quad (16)$$

Загальна щільність звукової енергії:

$$\varepsilon = \frac{W}{4\pi r^2 c} + \frac{4W(1 - \alpha_{cp})}{cA_{общ}} \quad (17)$$

Відповідно до (17) поблизу джерела рівень зменшується на 6 дБ при збільшенні відстані в два рази. Зона відбитого звуку визначається величиною граничного радіусу r_{np} , тобто відстанню від джерела, на якому рівні звукового тиску відбитого і прямого звуку рівні [5]:

$$r_{np} \approx \sqrt{\frac{A_{общ}}{50(1 - \alpha_{cp})}} \quad (18)$$

Узагальнюючи вищевикладене, можна зробити наступні висновки. Хвильова теорія акустики дозволяє отримати точні рішення. Однак складність математичного апарату і великі витрати часу на розрахунки обмежують її застосування діапазоном низьких частот, тим більше що в цьому діапазоні інші методи неприйнятні.

Не набула великого поширення і геометрична акустика внаслідок уявній складності і недостатньої розробки. Геометрична акустика дає не тільки наочне уявлення про характер поширення звуку, але і дозволяє кількісно оцінити такі питання, як нерівномірне розташування звукопоглиначів, вплив розмірів і форми приміщення на ефективність заходів боротьби з шумом та ін.

Статистична акустика дозволяє досить точно вирішувати завдання для приміщень з малим звукопоглинанням і для діапазону високих частот. Для приміщень, в яких довжина, ширина і висота змінюються в широких межах (наприклад, в виробничих будівлях), а також мають нерівномірне розташування звукопоглиначів, поширення звуку не відповідає законам статистичної акустики. Однак з урахуванням різних емпіричних поправок статистична акустика дозволяє найбільш просто вирішувати практичні завдання, тому вона набула найбільшого поширення.

1.2. Фактори, які визначають акустику залів

Середній час і довжина вільного пробігу хвилі. Основним прийомом статистичного дослідження звукового поля в приміщенні, а саме усередненням енергії звукових хвиль, які хаотично приходять з усіх можливих напрямків в дану точку обсягу, служить при припущенні про середню довжину вільного пробігу звукової хвилі [4].

Тоді інтервал часу τ , тобто середній час між двома послідовними відбитками звуку або середній час вільного пробігу звукової хвилі, визначиться зі співвідношення:

$$\tau = \frac{4V}{c_0 S} \quad (19)$$

Тоді середнє число відображень в одиницю часу:

$$n = \frac{1}{\tau} = \frac{c_0 S}{4V} \quad , \quad (20)$$

а середня довжина вільного пробігу звукової хвилі:

$$l_0 = c_0 \tau = \frac{4V}{S} \quad (21)$$

Середній коефіцієнт поглинання звуку. Коефіцієнтом поглинання матеріалу α - називають відношення поглиненої енергії звукової хвилі $E_{\text{погл}}$ до падаючої енергії $E_{\text{пад}}$ на поверхню цього матеріалу:

$$\alpha = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}} \quad (22)$$

Якщо розміри поверхні поглинаємого матеріалу великі в порівнянні з довжиною падаючої звукової хвилі і товщина його практично нескінченна, то коефіцієнт поглинання:

$$\alpha = 1 - \beta, \quad (23)$$

де α_i - коефіцієнт відбиття звукової хвилі.

Коефіцієнти поглинання залежать від кута падіння звукової хвилі на поглинаючий матеріал. Розрізняють нормальний коефіцієнт поглинання (для кута падіння 90°) і дифузний (для будь-яких кутів падіння). У довідниках зазвичай наводиться дифузний коефіцієнт поглинання. Перейдемо тепер до поняття середнього коефіцієнта поглинання звуку в приміщенні.

Якщо уявити собі, що приміщення обмежене однорідною за своїми фізичними і геометричними властивостями поверхнею, то середній коефіцієнт поглинання α визначається як відношення енергії, поглиненої всією поверхнею, до енергії, дифузно падаючої на неї.

Термін "дифузне падіння" відноситься до ергодичного процесу, коли всі напрямки перенесення звукової енергії рівноімовірні. [3] Отже, можна визначити α - як коефіцієнт поглинання звуку (в умовах дифузного поля) такою однорідною поверхнею, обмежуючи приміщення, зумовлює ті ж втрати енергії, що і фактична неоднорідна поверхня. Тому величина α як коефіцієнт поглинання звуку (в умовах дифузного поля) називається середнім коефіцієнтом поглинання, а відтворення її на поверхню S :

$$A = \alpha S \quad (24)$$

прийнято називати загальним поглинанням приміщення або фондом поглинання. Одиниця виміру - Себине [2].

Час реверберації. Одним з основних критеріїв акустичної якості залів є час реверберації. Чим більше приміщення, тим більше і середня довжина

вільного пробігу звукової хвилі l_{cp} , а число відображень в $c(n)$ менше, тобто процес загасання звуку відбуватиметься повільніше (табл. 1.1) [3].

Таблиця 1.1. Значення l_{cp} і n для приміщень різного об'єму

Розміри приміщення, м	V	$S_{обц}, м^2$	$l_{cp} = \frac{4V}{S_{обц}}, м$	$n = \frac{cS_{обц}}{4V}$
10x10x10	1 000	600	6,7	51
100x10x10	10 000	4200	9,5	36
100x20x10	20 000	6400	12,5	27
100x20x20	40 000	8800	18	19

Особливо великий час реверберації в приміщеннях великого об'єму з огорожувальними поверхнями, які мають невисокі коефіцієнти звукопоглинання. У цьому випадку приміщення будуть гучними. Зі зменшенням об'єму приміщень збільшується число відображень від поверхонь, і якщо вони будуть мати високі коефіцієнти звукопоглинання - загасання звуку відбуватиметься швидко (час реверберації малий) і приміщення будуть глухими.

Розрахунки доцільніше проводити за формулою Ейрінга [1]:

$$T = 0,161 \frac{V}{-S_{обц} \ln(1 - \alpha_{cp})} \quad (25)$$

У залах великого об'єму ($10\,000\, м^3$) при розрахунку часу реверберації необхідно враховувати поглинання звуку в повітрі. Для цього в знаменник формули (25) додається член $\mu \cdot V$, де μ — коефіцієнт ($м^{-1}$), залежить від температури і відносної вологості повітря.

Для визначення часу реверберації в приміщенні необхідно визначити його об'єм $V, м^3$, сумарну площу обмежуючих поверхонь $S_{обц}, м^2$, еквівалентну площа звукопоглинання $S_{обц}, м^2$. Остання величина визначається зазвичай при 70% -му заповненні залів для частот: 125, 500, 1000, 2000, 4000 Гц [7].

$A_{\text{общ}}$ розраховують за формулою:

$$A_{\text{общ}} = \sum A_i S_i + \sum A + \alpha_{\text{дон}} S_{\text{дон}} \quad (26)$$

де $\sum A_i S_i$ — сума помножених коефіцієнтів звукопоглинання окремих поверхонь на їх площі, $\sum A$ — сума еквівалентних площ звукопоглинання глядачами і кріслами; $\alpha_{\text{дон}}$ — середній коефіцієнт додаткового звукопоглинання, що враховує фактично існуючі в залах меблі (освітлювальна арматура, повітряні порожнини, сполучені з основним об'ємом залу, щілини і тріщини, вентиляційні решітки та ін.).

Середній коефіцієнт додаткового звукопоглинання в середньому може бути прийнятий рівним 0,08-0,09 на частоті 125 Гц і 0,04-0,05 на частотах 500-2000 Гц. Для залів, в яких вказані умови, що викликають додаткове звукопоглинання, слід ці значення збільшити приблизно на 30%, а в залах, де ці умови виражені слабо, приблизно на 30% зменшити.

Після знаходження загальної площі звукопоглинання розраховують

$\alpha_{\text{ср}} = \frac{A_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}}$. Якщо $\alpha_{\text{ср}} > 0,2$, тоді формула матиме вигляд:

$$T = 0,161 \frac{V}{S_{\text{общ}} \varphi(\alpha_{\text{ср}})} \quad (27)$$

де $\varphi(\alpha_{\text{ср}})$ - функція середнього коефіцієнта звукопоглинання.

Час реверберації є одним з істотних критеріїв оцінки акустичних якостей залів. Час реверберації добре характеризує загальну гучність залів. Цінним є також і те, що фізичний зміст цього критерію добре пов'язаний з суб'єктивним відчуттям. Важливе значення має і легкість експериментального і аналітичного визначення часу реверберації в уже побудованих або проєктованих залах. Відлуння є процесом одночасного загасання власних коливань повітряного обсягу залу.

1.3 Критерії акустичної якості залів

Збуджені джерелом власні коливання мають різні показники загасання. Крім того, час реверберації залежить і від типу звукових сигналів, які по-різному можуть піднімати окремі види власних коливань повітряного обсягу приміщень. З огляду на недостатність критерію часу реверберації були запропоновані інші критерії для оцінки акустичних властивостей залів. Одним з них є відношення щільності дифузійної звукової енергії до щільності прямої енергії, яка приходить від джерела звуку. Великий вплив на чутність мови і музики надає тимчасова структура ранніх віддзеркалень звуку, яка визначається їх рівнями і часом запізнення по відношенню до прямого звуку. Процес спаду звукової енергії можна уявити таким, що складається з двох нерівноцінних тимчасових ділянок: невеликого початкового, енергія якого може сприяти підвищенню розбірливості мови і поліпшенню якості звучання музики, і такого, що завершує (на якому звукова енергія визначає гучність приміщення). Причому значення початкової ділянки для музики і голосу різні. Велика група запропонованих критеріїв враховує співвідношення корисної частини процесу загасання звуку і всієї щільності звукової енергії.

Питання вибору критерію для оцінки акустичних якостей залів сьогодні є предметом теоретичних і експериментальних досліджень; глибина їх розробки ще не завжди дозволяє використовувати отримані результати безпосередньо для практичних цілей. Тому найчастіше використовується різниця часу проходження першого відбиття в порівнянні з прямим звуком. Зазвичай вона становить від 0,02 до 0,03 с. Оскільки $c = 340 \text{ м / с}$, то запізнення на 0,02с відповідає різниці ходів відбитого і прямого звуку близько 7 м; на 0,03с-10 м. Проміжки часу між наступними відображеннями також не повинні перевищувати даних значень [6].

У залах, призначених для слухання мови (аудиторіях, драматичних театрах), основне значення мають чіткість і розбірливість мови. Критерієм для оцінки чутності мови є артикуляція, яка оцінюється у відсотках слів, які

правильно зрозуміли, або складів по відношенню до всіх сказаних. Тому артикуляція є суб'єктивним критерієм. Для визначення розбірливості користуються експериментальним методом. Диктор розмірено читає таблиці односкладових, таких, що не мають сенсу склади (складова розбірливість) або фраз (розбірливість фраз), і слухачі, які знаходяться в різних точках залу, записують їх. У залах, в яких складова артикуляція рівна 85-96%, розбірливість мови вважається відмінною; якщо артикуляція знаходиться в межах 75-85%, розбірливість вважається хорошою; 65-75% - задовільною; менше 65% - розбірливість мови незадовільна. Незадовільною розбірливістю мови, тобто 60-65% складовою артикуляції, відповідає приблизно 80% розбірливості фраз, а задовільною розбірливості - приблизно 90% розбірливості фраз.

На артикуляцію впливають такі основні фактори: час реверберації (коефіцієнт K_1), рівень гучності мови (K_2), відношення рівня шуму, який заважає, до рівня гучності мови (K_3), форма і розміри залу (K_4). Тоді відсоток артикуляції буде рівний (формула Кнудсена) [4]:

$$ПА = 96K_1K_2K_3K_4 \quad (28)$$

Визначення артикуляції по цій формулі є наближеним. Значення коефіцієнтів, які наводяться нижче, дозволяють уникнути грубих акустичних помилок ще на стадії проектування. Значення, придбані дослідним шляхом, при часу реверберації приблизно $0,5 \pm 0,8$ с беруться за одиницю; при збільшенні часу реверберації артикуляція падає приблизно на 10% на кожен секунду часу. Так, при часі реверберації, рівному 4с $K_1 = 0,65$, і розбірливість мови буде незадовільною (ПА-62%) навіть при здачі всіх коефіцієнтів, рівних 1. Найбільша розбірливість мови має місце при рівні мови близько 70-80дБ. При 60 і 100дБ $K_2 = 0,95$; 50дБ — 0,9; 40дБ — 0,8-0,85 и при 30дБ — 0,65.

У разі рівного розподілу рівня шуму, який заважає, і рівня мови коефіцієнт $K_3 = 0,6-0,7$, тобто артикуляція практично стає незадовільною. При відношенні рівня шуму до рівня мови, рівному 0,7 $K_3 = 0,8$; при 0,6 $K_3 = 0,85$;

при 0,4 $K_3 = 0,9$; при 0,3 $K_3 = 0,92$; при 0,2 $K_3 = 0,95$; при 0,1 $K_3 = 0,98$. Коефіцієнт K_4 залежить від форми і розмірів залів. Для великих залів $K_4 = 0,9-0,95$; для прямокутних порівняно невеликих залів $K_4 = 1,0$ [4].

1.4. Форма залів і їх поверхонь

Оцінка форми і розмірів залів, а також окремих поверхонь з акустичної точки зору зазвичай проводиться на основі даних акустичних досліджень з натури або на моделі, а також на основі геометричних побудов. Застосування геометричних відображень залежить від довжини звукової хвилі, розмірів поверхні, що відбиває і її розташування, але по відношенню до джерела звуку і глядачів.

У тих випадках, коли променева площина паралельна одній з площин проєкцій, кути падіння і відображення проєктуються на цю площину проєкцій без спотворення. Якщо ж променева площина не паралельна площині проєкцій, але до неї паралельна нормаль в точці відображення, то проєкції кутів падіння і відбиття залишаються рівними; побудова відбитого променя виконується в цьому випадку звичайними прийомами нарисної геометрії. Якщо найменша сторона відбивача не менше ніж в 1,5 рази перевищує довжину хвилі, відображення звукових хвиль буде спрямованим. У разі рівного розподілу довжин хвиль і розмірів відбивача і подальшому збільшенні довжин хвиль звукова енергія при відображенні розсіюється і побудова відбитих звукових променів втрачає сенс.

При різниці в часі приходу прямого і відбитого звуків більш 0,05с людина вже розрізняє ці звуки. Це явище називається луною. За 0,05с звук проходить відстань 17 м ($340 \times 0,05 = 17$ м) [3]. Тому відлуння можливе тільки в приміщеннях досить великого розміру, проте своєрідна 'пурхаюча луна' може виникнути і в малих залах за рахунок багаторазових відбивань від протилежних стін з малим звукопоглинанням. Для попередження 'пурхаючої луни' необхідно збільшити звукопоглинання цих стін, тобто знизити

інтенсивність відбивання звукових хвиль, або відмовитися від такої форми залу. Увігнуті або склепінні поверхні з малим звукопоглинанням сприяють концентрації звукової енергії, фокусують звук. Якщо джерело звуку розташовується в центрі кривизни, відображення концентруються в центрі кола. При наближенні джерела звуку до поверхні (до половини радіусу) кругова поверхня відбивається як еліптична, тобто фокус знаходиться за центром кола. При подальшому наближенні джерела звуку до відбиваючої поверхні, величина фокусної відстані зростає, досягаючи нескінченності, тоді відстань до джерела звуку стає рівною половині радіуса. У цьому випадку дана поверхня відбивається як параболічна. Якщо джерело звуку знаходиться ще ближче, то фокус утворюється позаду відбиваючої поверхні і поверхня діє як гіперболічна.

На рис. 1.1 показані схеми залів при різному співвідношенні радіусу кривизни циліндричної стелі і висоти. При однаковій відбиваючій поверхні стелі площа підлоги, охоплена відбитими променями, неоднакова. Найбільша концентрація звуку, коли радіус кривизни близький до висоти приміщення. Тому радіус кривизни повинен бути значно більшим чи меншим висоти приміщення. В цьому випадку зони концентрації звуку будуть розташовані далеко від поверхні підлоги, на якій розташовуються глядачі. Якщо радіус кривизни менше довжини хвилі на низьких частотах, то концентрація звуку відбуватися на середніх і високих частотах, що призведе до спотворення тембру звуку.

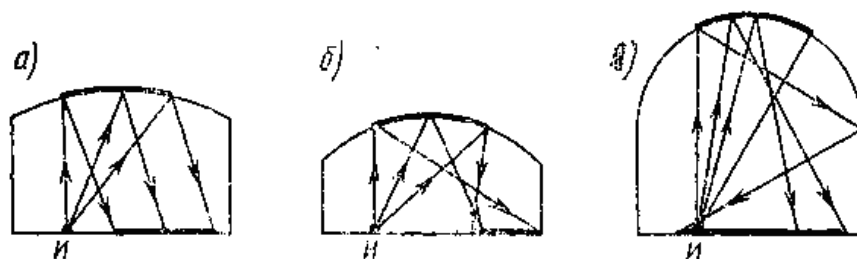


Рис. 1.1. Вплив радіусу кривизни r на характер відображень при різній висоті і формі

На рис. 1.2. показано поширення звукових променів з точки 'И'. Незважаючи на малі розміри залу (діаметр близько 10 м), в ньому спостерігається кілька фокусів, що призводять не тільки до нерівномірного розподілу звукової енергії, а й також до появи в точці Б сильної і виразної луни. Акустична якість залів з фокусуванням переважно є незадовільною через можливе утворення луни. Геометричні відображення дозволяють проаналізувати профіль окремих поверхонь [7]

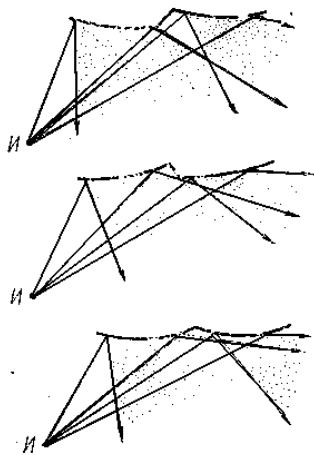


Рис.1.2. Відбивання звуку від складного профілю поверхні

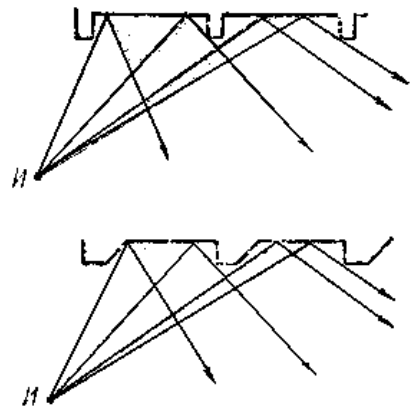


Рис. 1.3. Відбивання звуку від складного профілю поверхні

На практиці зустрічаються випадки подвійного фокусування.

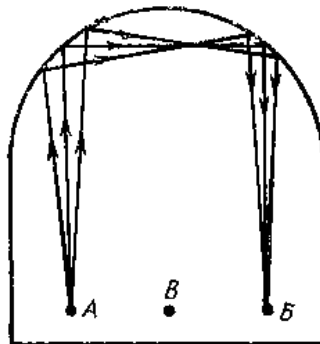


Рис. 1.4. Ефект подвійного фокусування

Наприклад людину, яка говорить тихим голосом в точці А, розташованої недалеко від стіни, не чути в точці В, але дуже добре сприймається слухачем в точці Б (рис.1.4.). Такий ефект можна спостерігати в метро.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ

Акустичні матеріали - будівельні вироби (найчастіше у вигляді листів, плит, матів або панелей), призначені для зміни характеру поширення звукових хвиль в приміщенні, сприяють комфортному відтворення звуків, відповідно до особливостей людського слуху, і підрозділяються на звукопоглинаючі і звукоізолюючі. Звукопоглинаючі матеріали можуть призначатися для ізоляції або від повітряного, або від структурного шуму.

Звукоізоляція - зниження рівня звукового тиску при проходженні хвилі крізь перешкоду. Ефективність захисної конструкції оцінюють індексом ізоляції повітряного шуму R_w (усередненим в діапазоні найбільш характерних для житла частот - від 100 до 3000 Гц), а перекриттів - індексом приведенного ударного шуму під перекриттям L_{nw} . Чим більше і менше L_{nw} , тим краще звукоізоляція. Обидві величини вимірюються в дБ.

Звукопоглинання - зниження енергії відбитої звукової хвилі при взаємодії з перешкодою, наприклад зі стіною, перегородкою, підлогою, стелею. Здійснюється шляхом розсіювання енергії, її переходу в тепло, збудження вібрацій. Звукопоглинання оцінюють за середнім показником в діапазоні частот 250-4000 Гц і позначають за допомогою коефіцієнта звукопоглинання α_w . Цей коефіцієнт може приймати значення від 0 до 1 (чим ближче до 1, тим відповідно вище звукопоглинання).

Шум - безладні коливання різної фізичної природи, що відрізняються складністю тимчасової і спектральної структури. У побуті під шумом розуміють різного роду небажані акустичні перешкоди при сприйнятті мови, музики, а також будь-які звуки, що заважають відпочинку, роботі.

Якісні особливості відчуття при сприйнятті акустичного шуму органами слуху і організму в цілому залежать від його інтенсивності і спектрального складу. Шкідлива дія шуму на організм людини проявляється в специфічному ураженні органу слуху і неспецифічних змінах інших органів

і систем. Організм людини неоднаково реагує на шум різного рівня і частотного складу. У діапазоні 35-60 дБА реакція індивідуальна (по типу «заважає - не заважає»). Шуми рівня 70-90 дБА при тривалому впливі призводять до захворювання нервової системи, а при L понад 100 дБА - до зниження гостроти слуху різного ступеня тяжкості, аж до розвитку повної глухоти.

Шумозахист - комплекс заходів (технічних, архітектурно-планувальних, будівельно-акустичних та ін.), що здійснюється для захисту від шуму і обмеження його рівня в приміщеннях, будівлях і на території населених місць відповідно до вимог санітарних норм. Ефективний шумозахист значною мірою сприяє підвищенню ступеня благоустрою населених місць, оздоровлення умов побуту, праці та відпочинку населення.

2.1. Категорії шумів і норми звукоізоляції приміщень

Відповідно до джерел, *шум всередині будівлі можна розділити на кілька категорій:*

1. повітряний шум;
2. ударний шум;
3. структурний шум (звуки від будівельних систем, системи вентиляції, опалення і т.п.);

Повітряний шум виникає при випромінюванні звуку (людського голосу, музичних інструментів, машин, обладнання та ін.) в повітряний простір, який досягає будь-якої огорожі і викликає її коливання. Коливання огорожі, в свою чергу, випромінює звук в суміжне приміщення, і таким чином повітряний шум досягає сприймаючу його людину.

Фактична ізоляція повітряного шуму залежить не тільки від звукоізоляційних властивостей конструкції огорожі, а й від площі цієї конструкції, а також від звукопоглинання поверхні стін, підлоги, стелі і предметів в тихому приміщенні. Оскільки показники в кожному конкретному

випадку змінюються, введено поняття звукоізолюючої здатності (власної звукоізоляції) R_n , яка вимірюється в децибелах. Ця величина не залежить ні від площі, ні від звукопоглинання, вона властива тільки самій обгороджувальній конструкції.

Для зручності вимірювань користуються індексом ізоляції повітряного шуму. Він дозволяє виводити усереднені величини. Так в нормативах для міжквартирних стін і міжповерхових перекриттів встановлені мінімальні значення R_n , які рівні:

- 54 дБ для будинків категорії А (високо комфортні умови);
- 52 дБ для будинків категорії Б (комфортні умови);
- 50 дБ для будинків категорії В (гранично-допустимі умови).

Ударний шум утворюється при падінні на підлогу предметів, ходьбі людини, пересуванню меблів та інші. Виникаючі при цьому коливання перекриття передаються на повітряний обсяг нижнього приміщення, а також всієї будівлі в цілому.

Ізоляція ударного шуму визначається за допомогою «тупальної» машини, яка встановлюється на підлозі верхнього приміщення, обчислюючи рівні звукового тиску L_n , дБ під перекриттям. При цьому, чим вище значення L_n , тим гірше ізоляція перекриттям ударного шуму. Усереднені значення L_n дозволяють визначити індекс ударного шуму під перекриттям, які дорівнюють:

- 55 дБ для будинків категорії А;
- 58 дБ для будинків категорії Б;
- 60 дБ для будинків категорії В.

Структурний шум виникає при контакті будівельних конструкцій з різним вібруючим обладнанням. Структурний шум поширюється по будівельним конструкціям і випромінюється в приміщення на всіх шляхах свого поширення.

Звукоізоляція приміщень включає в себе звукоізоляцію підлоги від ударного шуму і звукоізоляцію стін і стелі від повітряного шуму.

2.2. Методи ізоляції шуму

Позбавити свій слух від небажаних звуків можна двома способами: *зниживши рівень шуму джерела або встановивши на шляху акустичних хвиль перешкоду*. При виборі побутових приладів бажано орієнтуватися на ті, у яких власний шум при роботі не перевищує 40 дБА.

Рівень шуму, що проникає ззовні, обмежують вже на стадії будівництва. Це досягається в результаті дотримання нормативних вимог до звукоізоляції житлових приміщень. "Шумливі" зони (кухня, ванна кімната, туалет) об'єднують в окремі блоки, які межують зі сходовими клітками або аналогічними блоками сусідніх квартир. Якщо ж головні джерела шуму знаходяться за межами житла, а бажаною тиші все одно немає, слід приділити особливу увагу додаткової звукоізоляції конструкцій, які огорожують приміщення збоку, зверху і знизу. *До них найчастіше відносяться:*

- розділяючі стіни і перегородки;
- підлоги і стелі, включаючи їх стики зі стінами і перегородками;
- віконні блоки, міжкімнатні і балконні двері;
- вбудовується в стіни і стелю обладнання та інженерні комунікації, що сприяють поширенню шуму.

2.2.1. Акустичні матеріали для звуко- і шумоізоляції приміщень від різних категорій шумів

Усередині приміщень, де велика площа відкритої цегли, штукатурки, бетону, кафелю, скла, металу, завжди чути довге відлуння. Якщо в таких приміщеннях є кілька джерел звуку (розмова людей, музика і т.д.), то прямий звук накладається на його гучні перші відбиття, що призводить до нерозбірливості мови і підвищеному рівню шуму в приміщенні. У більшості

випадків це небажано. У приміщенні для домашнього кінотеатру час реверберації має бути не більше і не менше заданих меж. Занадто великий час реверберації призводить до спотворення сприйняття мови і музичних творів. Навпаки, занадто мале - до "сухості" приміщення і "несочності" чутних звуків. Для зниження або корекції часу реверберації приміщення в його обробці застосовують звукопоглинальні матеріали і конструкції (звукопоглиначі). З акустичної точки зору звукопоглиначі можуть бути розділені на наступні групи:

- пористі (включаючи волокнисті);
- пористі з перфорованими екранами;
- резонансні;
- шаруваті конструкції;
- штучні або об'ємні.

Пористі звукопоглиначі виготовляють у вигляді плит, які кріпляться до огорожувальних поверхонь безпосередньо або на віднесенні, з легких і пористих мінеральних штучних матеріалів - пемзи, вермикуліту, каоліну, шлаків і т.д. з цементом або іншим в'язким. Такі матеріали досить міцні і можуть бути використані для зниження шуму в коридорах, фойє, сходових маршах громадських і промислових будівель.

У приміщеннях, де до зовнішнього вигляду звукопоглиначів пред'являються підвищені вимоги, застосовують спеціальним чином оброблені *волокнисті матеріали*. Сировиною для їх виробництва служать деревні волокна, мінеральна вата, скляна вата, синтетичні волокна. Ці вироби також виготовляють у вигляді плоских плит (стельові або стінові панелі) або криволінійних і об'ємних елементів. Поверхня волокнистих звукопоглиначів обробляється спеціальними пористими фарбами, які пропускають повітря (наприклад, *Acutex T*) або покривається повітропроникними тканинами або нетканими матеріалами, наприклад лутрасилом. В даний час волокнисті звукопоглиначі є найбільш вживаними в будівельній практиці. Вони не тільки виявилися найбільш ефективними з акустичної точки зору в широкому

частотному діапазоні, а й відповідають підвищеним вимогам, що пред'являються до дизайну приміщень.

У волокнистих поглиначах розсіювання енергії коливання повітря і перетворення її в тепло відбувається на декількох фізичних рівнях. По-перше, внаслідок в'язкості повітря, а його дуже багато в міжволоконному просторі, коливання частинок повітря всередині поглинача призводить до тертя. Крім цього, відбувається тертя повітря з волокнами, поверхня яких також велика. По-третє, волокна труться одне об одне і, нарешті, відбувається розсіювання енергії через тертя кристалів самих волокон. Цим пояснюється, що на середніх і високих частотах коефіцієнт звукопоглинання волокнистих матеріалів знаходиться в межах 0,4 ... 1,0 (пам'ятаючи, що коефіцієнт звукопоглинання α дорівнює відношенню невідбитої (поглиненої всередині і пройшовшої крізь) від поверхні енергії коливання повітря до повної енергії, що впливає на поверхню).

Волокнисті і пористі матеріали використовують в основному для поліпшення акустичних якостей в кінотеатрах, театрах, концертних залах, студіях, аудиторіях. Для збільшення звукопоглинання на низьких частотах необхідно збільшити товщину пористо-волокнистих матеріалів або передбачити повітряний проміжок між поглиначем і відбиваючою конструкцією.

Волокнисті звукопоглиначі без фарбувального або зовнішнього тканинного шару використовують із зовнішнім захистом від механічних пошкоджень, виконаним з перфорованого матеріалу (SoundLux, дерева, фанери, гіпсокартону).

Між екраном і волокнистим матеріалом прокладають повітропроникне полотно для запобігання емісії волокнистих частинок. Конструкції з перфорованим покриттям звукопоглинача дозволяють досягати досить великого звукопоглинання в широкому діапазоні частот. Частотну характеристику звукопоглинання регулюють підбором матеріалів, його товщиною, розміром, формою, кроком отворів. Звукопоглиначі з металевим

перфорованим екраном добре зарекомендували себе в якості антивандальних покриттів.

Звукопоглинання пористим і волокнистим матеріалом, покритим перфорованим екраном, носить резонансний характер. Прототипом таких конструкцій служить резонатор Гельмгольца, що складається з повітряної порожнини, яка з'єднана отвором з повітрям приміщення, наприклад, глиняний посуд, вмурований в стіну, з відкритим в приміщення отвором. У таких резонаторів звукопоглинання досягається у вузькому діапазоні частот поблизу власної частоти коливань резонатора. Для отримання високого значення коефіцієнта звукопоглинання (0,7 ... 0,9) в широкому діапазоні частот застосовують багат шарові резонансні конструкції, що складаються з 2, 3 паралельних екранів з різною перфорацією з повітряним проміжком різної товщини.

Звукопоглинальні конструкції з великим звукопоглинанням в області низьких частот виготовляють у вигляді панелей, що складаються з тонких пластин (дерево, фанера, гіпсокартон), закріплених на рамі. Пластини розташовані на деякій відстані від огорожувальних поверхонь. Під дією звукових хвиль панелі будуть коливатися. При збігу власних частот панелей і вимушених частот звукових хвиль буде спостерігатися явище невідбивання (поглинання) цих хвиль. Якщо при цьому між панелями і огорожувальними конструкціями розмістити ефективні на середніх і високих частотах волокнисті поглиначі, то вийдуть широкосмугові звукопоглинальні конструкції. Без застосування подібних конструкцій важко досягти оптимального часу реверберації в концертних і театральних залах, де застосування тільки ефективних м'яких пористих і волокнистих поглиначів приглушує зал на середніх і високих частотах і залишає його досить гучним на низьких.

У приміщеннях великого об'єму ефективність зниження часу реверберації або рівня шуму за рахунок впливу додаткового звукопоглинання зменшується. У таких приміщеннях важливо використовувати ще і форму

стін і стель. Так, застосування не плоских, а кесонних стель і пілястр різної форми або виступів (балконів) на стінах збільшує звукопоглинання (на низьких частотах - за рахунок форми поверхні, на середніх і високих - за рахунок багаторазових відбивань від віддалених ділянок стін і стелі). Крім того, це призводить до більшої дифузності звукового поля, що благотворно позначається на акустичному кліматі в приміщеннях.

У випадках, коли звукопоглинаючий матеріал можна застосовувати на конструкціях (наприклад, якщо вони світлопрозорі) або їх площа недостатня для досягнення необхідного ефекту, використовуються підвісні штучні (об'ємні) звукопоглиначі. Найчастіше це плоскі плити з волокнистих матеріалів, покриті пористою фарбою, обтягнуті тканинами або укладені в перфоровані листи металу. Так, штучні звукопоглиначі Boffl шведської фірми Ecorphone мають розмір 600*1200*50мм, мають спеціальні гачки для підвісу. Такі конструкції акустично дуже ефективні, так як, підвішені вертикально, вони поглинають звук обома поверхнями. Якщо ці поглиначі підвішені так, що в плані утворюють замкнуті фігури (квадрати, трикутники і т.д.), то звукопоглинання збільшується за рахунок резонансного поглинання в повітрі між вертикалями панелей.

При виборі того чи іншого звукопоглинача, крім акустичних вимог, необхідно враховувати і умови експлуатації приміщення. Тому треба мати на увазі такі властивості матеріалів, як волого- і вогнестійкість, механічна міцність, економічність, біостійкість, можливість вторинного фарбування, очищення від пилу та миття.

Провідні торгові марки звукопоглинальних матеріалів і конструкцій, представлених на ринку СНД:

- Ecorphon (Швеція) - підвісні стелі, стінові панелі, штучні звукопоглиначі на основі скловолокна;
- Akusto (Фінляндія) - підвісні стелі на основі скловолокна;
- Rockfon (Данія) - підвісні стелі на основі базальтового волокна;

- Шуманет БМ (Росія) - не оброблені звукопоглинальні панелі на основі базальтового волокна;
- Sound Lux (Росія) - стінові панелі з металевих перфорованих касет і базальтово-волокнистих звукопоглиначів;
- ТИГИ KNAUF (Росія) - перфоровані гіпсокартонні стельові панелі ППГЗ;
- AMF, OWA (Німеччина) - стельові панелі з різних волокнистих матеріалів;
- MAPPY (Італія) - поролонові пористі звукопоглинаючі листи і мати з різною формою лицьової поверхні (для променевого розсіювання відбитих хвиль).

ЗІПС панелі додаткової звукоізоляції застосовуються при будівництві та реконструкції будівель для збільшення звукоізоляції одношарових будівельних конструкцій: гіпсових, цегляних і бетонних стін і перегородок, а також перекриттів.

Панелі ЗІПС застосовуються в приміщеннях будь-якого типу і призначення. З їх допомогою проводиться додаткова звукоізоляція квартир, котеджів і офісів. Панелі додаткової звукоізоляції дозволяють вирішити питання забезпечення нормативної звукоізоляції в громадських будівлях: кінотеатрах, ресторанах, клубах, і т.д.

Акустичні підвісні стелі Ecophon завдяки відмінним звукопоглинальним властивостям можуть використовуватися для влаштування стель і оздоблення стін, як при капітальному, так і ремонтному будівництві.

Для оздоблення стін широко застосовуються акустичні стінові панелі *Ecophon Master Alpha, Ecophon Colorado i Ecophon Super G*.

Зазвичай звукопоглинальні панелі встановлюються на стелі. Однак іноді це не зручно і просто не можливо, наприклад, в залах зі скляною стелею, в приміщеннях з вікнами в стелі або в атріумі. У цьому випадку замість звукопоглинальної стелі використовуються звукопоглинаючі стінові

панелі. Стінові звукопоглинальні панелі рекомендується використовувати в комбінації зі стельовими панелями. Це знизить можливість появи пурхаючої луни.

В кінотеатрах звукопоглинальні панелі монтуються різним чином для регулювання якості звуку гучномовців і відбитого звуку.

"Вібросил-Еб" голкопробивні мати зі скла *Е* застосовуються у вигляді підкладки під стяжку для ізоляції ударного шуму при встановленні "плаваючої підлоги", при монтажі звукоізоляційних перегородок на каркасній основі, або панелей ЗПС для зниження передачі структурного шуму.

Голкопробивні вогнестійкі мати з кремнеземистого волокна "Вібросил-К" використовують:

- як матеріал прокладки в конструкціях дерев'яних перекриттів і підлог, при монтажі панелей ЗПС для ізоляції ударного шуму і зниження передачі структурного шуму;
- в якості звукопоглинального матеріалу як середній шар звукоізоляційних конструкцій (легкі перегородки з листів ГКЛ, ГВЛ);
- як тепло-вогнезахисний шар в складі завіси, покривала або підстилки побутового призначення;
- там, де не допускається зміна температурного режиму, де теплота повинна контролюватися і зберігатися, з поєднанням хороших акустичних характеристик;
- там, де не допускається застосування канцерогенних волокон, волокнистих включень і сполучних смол.

"ШУМАНЕТ-100" склополотно Velimat-LB230 з одностороннім бітумним покриттям може застосовуватися в якості пружного шару в конструкціях звукоізоляційних підлог:

- поверх плит залізобетонних перекриттів (матеріал укладається під вирівнюючу стяжку);

- під фанеру при укладанні штучного паркету або під паркетну дошку ("Шуманет-100" укладається по вирівнюючій стяжці перед настиланням паркету). У цьому випадку індекс додаткової ізоляції ударного шуму дорівнює $L_{nw} = 18$ дБ;
- між лагами і плитою перекриття в конструкціях дерев'яних підлог;
- "Шуманет-100" укладається під балки дерев'яних перекриттів в місцях їх опори на стіни.

Звукопоглинаючі стінові панелі SoundLux з металевим перфорованим облицюванням застосовуються для створення акустичного комфорту в приміщеннях, для створення необхідного акустичного середовища в поєднанні з високими характеристиками міцності і для зниження шуму від обладнання в технічних приміщеннях різного призначення (вентиляційні камери).

ППГЗ плити перфоровані гіпсові застосовуються в студіях звукозапису, кінотеатрах (в т.ч. домашніх) і інших спеціалізованих приміщеннях, вони відповідають необхідним звукопоглинаючим характеристикам приміщень за рахунок зниження інтенсивності відбиття звукових хвиль.

К-13 багатофункціональне напильюче ізоляційне покриття застосовується для: теплоізоляції, поліпшення акустичного середовища, контролю конденсації вологи, зменшення рівня шуму і, як заміник азбест матеріалів.

SonaSpray "fc" акустичне напильюче покриття застосовується для обробки стель, поліпшення акустичного середовища, зменшення рівня шуму і, як заміник азбест матеріалів.

Мінеральна вата ROCKWOOL, завдяки своїй волокнистій структурі і відповідній об'ємній щільності здатна зменшити, ізолюючи і поглинаючи, як розповсюджуваний повітряний, так і структурний шум, зменшуючи шум приблизно на 20%.

2.2.2. Звукоізоляція міжповерхових перекриттів

Для конструкцій міжповерхових перекриттів житлових будівель згідно з нормами ММСН 2.04-97 в якості нормативних значень прийняті наступні величини. Для багатопустотних залізобетонних плит товщиною 220 мм і вібропресованих залізобетонних плит товщиною 160 мм індекс ізоляції знаходиться приблизно на межі $R_w = 52$ дБ. Для плит перекриття товщиною 140 мм індекс ізоляції повітряного шуму рідко перевищує $R_w = 51$ дБ. Монолітне залізобетонне перекриття товщиною 250 мм має рівень наведеного ударного шуму близько $L_{nw} = 74$ дБ [9].

Таблиця 2.1. Індекс ізоляції повітряного шуму і індекс наведеного рівня ударного шуму для різних огорожувальних конструкцій в різних категоріях будинків

Найменування і розташування захисної конструкції	Індекс ізоляції повітряного шуму, R_w , дБ	Індекс приведенного рівня ударного шуму, L_{nw} , дБ
Перекриття між приміщеннями квартир і відокремлююча приміщення квартир від холів і використовуваних горіщних приміщень		
В домах категорії А	54	55
В домах категорії Б	52	58
В домах категорії В	50	60
Перекриття між приміщеннями квартир і розташованими під ними магазинами		
В домах категорії А	59	55
В домах категорії Б і В	57	58
Перекриття між кімнатами в квартирі в двох рівнях		
В домах категорії А	47	63
В домах категорії Б	45	66
В домах категорії В	43	68

Необхідно сказати декілька слів щодо самого стандарту і методики оцінки рівня ударного шуму. Якщо зростання індексу R_w , свідчить про поліпшення звукоізоляційних характеристик перекриття, то по відношенню до ізоляції ударного шуму ситуація поліпшується, якщо значення рівня шуму під перекриттям стає менше. Таким чином, чим менше даний індекс, тим краще з акустичної точки зору конструкція перекриття.

Шумоізоляція приміщення знизу і зверху визначається міжповерховим перекриттям. Однак для захисту від структурного шуму його довелося б зробити дуже товстим і важким. В якості додаткового звукоізолятора можна змонтувати підвісну або підшивну стелю, а ось між нижньою плитою і покриттям підлоги (паркетом, лінолеумом, ламінатом, ковроліном) зазвичай стелять проміжну еластичну підкладку. Вона помітно зменшить шум ваших кроків, за що, до речі, сусід знизу повинен бути вам вдячний.

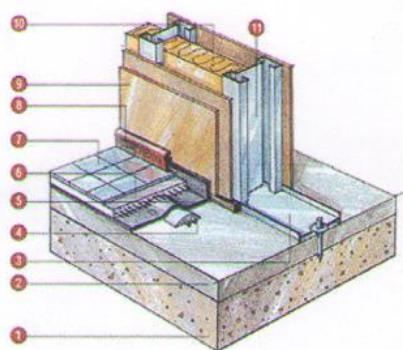
Набагато ефективніше пристрій звукоізолюючої підлоги. Вона може монтуватися на лагах або на еластичній («плаваючій») основі. Ударний шум знижують за допомогою підкладки з різних матеріалів. Наприклад, з полімерно-бітумної мембрани Fonostop Duo (фірма INDEX), технічної пробки товщиною до 8 мм від фірми IROCORC або листів "Регупол", виконаних з гумової крихти та поліуретану ("РЕГУПЕКС"). Зверху роблять бетонну стяжку товщиною 30-50 мм, а вже на неї настиляють чистове підлогове покриття. За рахунок малого модуля пружності матеріалу підкладки поширення ударного шуму різко падає.

ТИГИ-KNAUF пропонує свій шумоізоляційний "пиріг". Різні комбінації його шарів в поєднанні з листом полістиролу товщиною 20-30 мм дозволяють змінити індекс L_{nw} на 20-30 дБ для вібрацій з частотою 150-3000 Гц. В середньому "плаваюча" підлога здатна зменшити цей індекс на 8-33 дБ для найбільш поширених в побуті шумів з частотами від 150 до 3000 Гц.

При настилі лінолеуму з войлочною основою безпосередньо на залізобетонну плиту товщиною 220 мм шумоізоляція знизу нерідко навіть погіршується на 1-3 дБ. Винуватці неприємності - резонансні явища. У багатоповерхових будівлях для боротьби з ударним шумом завжди застосовують прокладки. З їхньою допомогою захищають стики несучих елементів. Досить ефективне рулонне кремнеземне волокно Supersil товщиною 6 мм. За даними НДІБФ, воно дозволяє знизити індекс L_{nw} на 27 дБ. Волокно є універсальним, оскільки відрізняється ще й хорошим

звукопоглинанням. Як прокладки зручно використовувати також синтетичну стрічку "Регупол".

Звукоізоляція підлоги від ударного шуму. Для уникнення впливу ударного шуму на підлогу застосовуються м'які, еластичні матеріали, нанесені на підлогу або поміщені між шарами, складовими покриття для підлоги. Перший метод полягає в тому, що на підлогу кладеться килим або еластичне покриття для підлоги. Другий варіант вирішення проблеми більш ефективний і має загальну назву «звукоізолююча підлога».



1. Плита перекрытия
2. Выравнивающая стяжка
3. Металлическая направляющая
4. Теплый пол
5. Шумо- и гидроизолирующая прокладка
6. Стяжка
7. Плитка
8. Плинтус
9. Гипсокартон
10. Звукопоглощающий наполнитель
11. Металлические стойки с шагом 600 мм.

Рис. 2.1. Конструкція звукоізолюючої підлоги

Структурна плита — структурний елемент, на якому створюється плаваюча підлога. Поверхня повинна бути рівною і гладкою. Для кращого результату труби не поміщаються в плиту, а прокладаються зверху в кожусі, виконаному з легкого бетону. Якщо це неможливо, то труби прикріплюються до плити перекрытия цементно-піщаним розчином. Не слід використовувати перехрестя труб, так як це збільшує товщину підготовчого шару; якщо неможливо уникнути перехрестя труб, то нижню трубу можна прокласти по жолобу, видовбаному в плиті.

Звукоізолюючий шар повинен бути водонепроникним, щоб не вбирав вологу верхньої цементної стяжки, і міцним, здатним сприймати постійні навантаження від ходіння, а також не руйнуватися з часом. **FONOSTOP DUO** - високоефективний шумоізоляційний матеріал, який відповідає всім перерахованим вище вимогам.

Він укладається на гладку, рівну поверхню плити перекриття: стик в стик по поперечним швах і з боковою накладкою на величину спеціальної кромки (5 см) по поздовжніх швах. Шви герметизуються скотчем. По периметру приміщення прокладається самоклеюча звукоізоляційна стрічка **FONOCCELL**.

Поверх **FONOSTOP DUO** виконується плаваюча стяжка товщиною не менше 4 см, армована оцинкованою металевою сіткою з комірками 5*5 см. Головне, щоб не існувало жорсткого з'єднання між плитою перекриття, "плаваючою стяжкою" і стінами, яке може знизити ефективність звукоізоляції вдвічі. Труби також не повинні поміщатися в «плаваючу стяжку», так як це може утворювати акустичний міст.

Акустична ізоляційна система (**FONOSTOP DUO + FONOCCELL + «плаваюча стяжка»**) рекомендується для будинків з підлогами, потенційне навантаження яких не перевищує 200 кг/м². Рекомендована пропорція для виготовлення «плаваючої стяжки»: 250 кг цементу М-500 на м³.

Переваги акустичної ізоляційної системи (**FONOSTOP DUO + FONOCCELL**): висока міцність; невелика вага; еластичність і зручність в застосуванні рулонного матеріалу.

Застереження:

- метод ізоляції «звукоізолююча підлога» придатний для використання в житлових будівлях при навантаженнях не більше 200 кг/м²;
- товщина **FONOSTOP DUO** під вагою «плаваючою стяжки» і покриття підлоги зменшується в пропорції: 1 мм - 100 кг/м²;
- при площі поверхні більше 30 м², в «плаваючій стяжці» необхідно передбачити деформаційні шви.

Звукоізоляція стелі від повітряного шуму. Найчастіше для ізоляції стель від повітряного шуму використовують конструкцію, яка приведена на рис. 2.2.

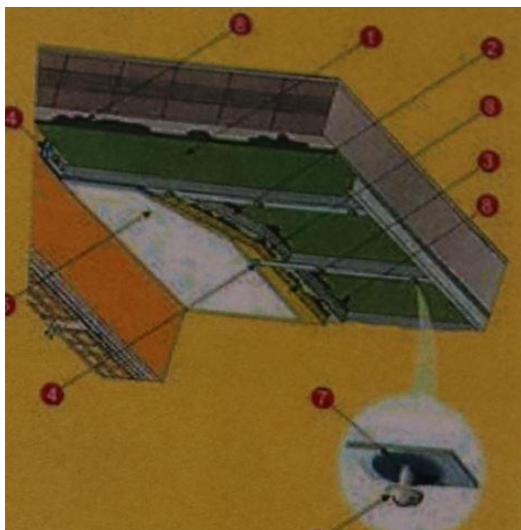


Рис. 2.2. Звукоізолююча конструкція стелі від повітряного шуму

За допомогою клею **FONOCOLL** до перекриття прикріплюється мембрана **POLIPOMBO**. Стики мембрани проклеюються монтажним скотчем.

Каркас підвісної системи кріпиться в розпір до перегородок через звукоамортизуючу смугу **FONOSTRIP**. Між профілями каркаса до мембрани **POLIPOMBO** за допомогою клею **FONOCOLL** кріпиться звукоізоляційний матеріал **ECOSILENT**.

До каркасу підвісної системи кріпляться панелі гіпсокартону. При цьому місця зіткнення гіпсокартону з каркасом прокладаються смугою **FONOSTRIP**, а стики між панелями гіпсокартону заштукатурюються мастикою **STUCCOJOINT**.

Опишемо викорисані вище матеріали.

FONOSTOP DUO - звуко-, гідроізоляційний матеріал для ізоляції підлоги від ударних шумів. Складається з шару гідроізоляційного матеріалу товщиною 1,5 мм і шару синтетичного войлоку з поліестерового волокна товщиною 6,5 мм. Укладається під «плаваючу стяжку» - самоклеюча смуга зі спіненого поліетилену. Служить для ізоляції армованої стяжки «плаваючої підлоги» від перегородки. Товщина - 5 мм.

POLIPOMBO - звукоізоляційна мембрана. Не має «критичної» частоти в слуховому діапазоні. Товщина - 4 мм.

ECOSILENT - звуко- і термоізоляційний матеріал на базі волокна з поліестеру, скріплений термічним способом. Екологічно чистий матеріал. Товщина - 40 мм.

SILENTGIPS - панелі для звуко- та термоізоляції існуючих стін. Складаються з гіпсової панелі товщиною 9,5 мм, з'єднаної з шаром скловати щільністю 85 кг/м³. Товщина - 30 ... 50 мм.

SILENTGIPS/ALU - панелі для звуко- та термоізоляції з алюмінієвим листом для запобігання утворення конденсату водяної пари в ізолюючому шарі. Товщина - 30 ... 40 мм.

SILENTGLASS - звуко- і термоізоляційний матеріал на основі негниючого скловолокна. Матеріал негорючий і екологічно чистий.

FONOCOLL - клей для звукоізоляційних матеріалів на основі стіренакрилових смол в водній дисперсії зі спеціальними добавками [19].

2.2.3. Звукоізоляція стін від повітряного шуму

Будь-яке приміщення обмежене стінами, які представляють собою перешкоди для звукових хвиль. Ці конструкції бувають двох типів: одношарові, частіше монолітні (цегляні, залізобетонні, кам'яні та інші), і багатошарові, що складаються з листів різних матеріалів. Підвищити звукоізоляцію огорож можна наступними способами:

- зробити так, щоб звукова хвиля не змогла змусити перешкоду коливатися, передаючи при цьому звук всередину приміщення;
- домогтися поглинання і розсіювання енергії звукової хвилі усередині конструкції.

Перший шлях вимагає, щоб перешкода була або масивною (важкою), або жорсткою. Другий реалізується за допомогою багатошарових конструкцій з пористих і волокнистих матеріалів. Чим важче і товстіше

моноліт і вище частота звуку, тим менше стіна вібрує, і, отже, її звукоізолююча здатність краще. Втім, зв'язок між цими параметрами не прямий. Так, бетонна стіна досить поширеної товщини 140 мм забезпечує при частоті 300 Гц звукоізоляцію всього в 39 дБ, а при частоті 1600 Гц - близько 60 дБ. Підвищення значення індексу шляхом збільшення маси конструкції не настільки ефективно, як здається. Якщо оштукатурена стіна в півцеглини (товщиною 150 мм) дасть звукоізоляцію в 47 дБ, то оштукатурена стіна завтовшки в цеглину - тільки 53-54 дБ. Іншими словами, подвоєння маси поліпшить звукоізоляцію всього на 6-7 дБ.

Багатошарова конструкція складається з листів різних матеріалів, між якими може знаходитися і повітряна порожнина. У такій структурі вібрації затухають швидше, ніж в однорідному матеріалі. Звукоізоляційні властивості "листової" перегородки порівняно невеликої щільності можна порівняти з властивостями монолітної стіни. Так, перегородка товщиною 150 мм з 40-міліметровим шаром заповнювача з мінеральної вати і повітряної порожниною в 100 мм, обшита зовні здвоєними гіпсокартонними листами товщиною 12,5 мм кожен, забезпечить звукоізоляцію $R_w = 52$ дБ. Цього цілком достатньо для захисту від шуму, створеного поширеними в побуті джерелами.

Розглянемо кілька найбільш ефективних конструкцій звукоізоляції стін:

1. *Звукоізоляція стін з використанням панелей SILENTGIPS*

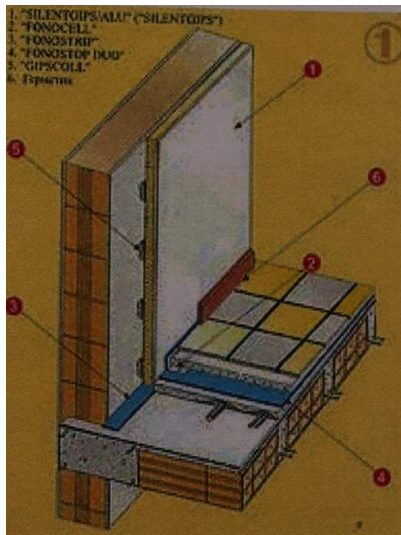


Рис. 2.3. Звукоізолююча конструкція стін з використанням панелей SILENTGIPS

Панелі **SILENTGIPS** приклеюються до стіни за допомогою клею **GIPSCOOL**. Шви між панелями закладаються за допомогою стрічки і мастики **NASTROGIPS**. Для забезпечення звукоізоляції необхідно, щоб при наклеюванні на стіни панелі не стикалися зі стелею і бічними стінами, а також з підлогою, для чого між панелями і підлогою встановлюються спеціальні клини, які прибираються після висихання клею. Зазори, які утворилися повинні бути заповнені смужками з **FONOSTRIP** або герметиком. Панелі не вимагають штукатурки, готові до фінішної обробки.

Індекс ізоляції повітряного шуму стін, ізольованих панелями **SILENTGIPS**, досягає 52 дБ в залежності від структури стіни.

2. Звукоізоляція внутрішніх стін з використанням подвійних перегородок

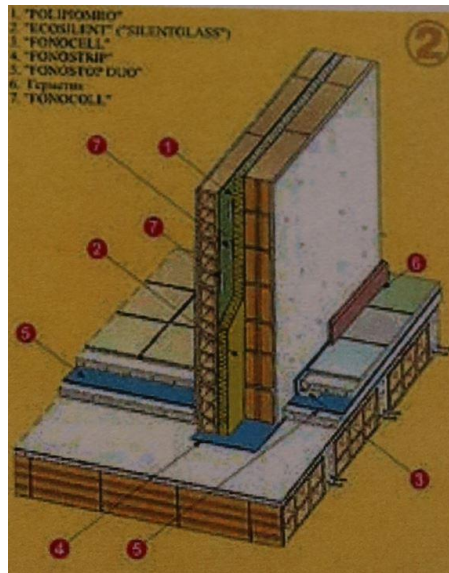


Рис. 2.4. Звукоізолююча конструкція внутрішніх стін з використанням подвійних перегородок

При зведенні внутрішніх стін для досягнення ефективної звукоізоляції доцільно використовувати подвійні перегородки з різною товщиною і масою.

У місцях установки перегородок на перекриття укладається звукоамортизуюча смуга **FONOSTRIP**. При цьому ширина смуги **FONOSTRIP** рекомендується на 8 см ширше перегородки (по 4 см з кожного боку).

Після зведення однієї частини перегородки на її внутрішню поверхню за допомогою клею **FONOCOLL** кріпиться звукоізолююча мембрана **POLIPIOMBO**, стики якої проклеюються монтажним скотчем. Одночасно із зведенням другої перегородки зазор між перегородками заповнюється звукоізолюючим матеріалом **ECOSILENT**, який приклеюється до **POLIPIOMBO**. Після зведення другої частини перегородки проводиться обробка її зовнішніх поверхонь (побілка, фарба, шпалери).

3. Звукоізоляція стін з використанням металевого каркасу

Крім використання готових панелей **SILENTGIPS**, можна застосувати звукоізолюючу конструкцію на металевому каркасі.



Рис. 2.5. Звукоізолююча конструкція стіни з використанням металевого каркасу

Перш за все, на суху і очищену від пилу і бруду поверхню за допомогою клейового складу **FONOCOLL** прикріплюється звукоізоляційна мембрана **POLIPOMBO**. Стики мембрани проклеюються монтажним скотчем. Потім металевий каркас встановлюється на направляючі, які в розпір закріплюються на стелі і підлозі і ізолювані за допомогою звукоамортизуючій смузи **FONOSTRIP**. У разі крайньої необхідності каркас можна прикріпити шурупами-саморізами, але через прокладки з **FONOSTRIP**.

Простір між профілями каркаса заповнюється звукоізолюючим матеріалом **ECOSILENT**, який кріпиться до **POLIPOMBO** за допомогою клею **FONOCOLL**.

До металевого каркаса кріпляться панелі гіпсокартону, стики між якими зашпакльовуються мастикою на базі гіпсу **STUCCOJOINT**. Після чого панелі готові до фінішної обробки (фарба, шпалери і т. д.).

Індекс ізоляції повітряного шуму стін, ізолюваних за допомогою матеріалів **POLIPOMBO** и **ECOSILENT**, досягає 59 дБ в залежності від структури стіни. При цьому, при використанні двох листів гіпсокартону замість одного індекс ізоляції повітряного шуму стін збільшиться на 4-5 дБ.

2.2.4. Звукоізоляція віконних блоків і дверей

Вікна, балконні і міжкімнатні двері теж сприяють проникненню в приміщення шумів. Причому поліпшення шумоізоляції в даному випадку знаходиться в протиріччі з проблемою забезпечення припливу свіжого повітря. А оскільки пристрій централізованої примусової припливної вентиляції в житлових будівлях - занадто дороге задоволення, фахівці фірми «АЕРОМАТИКА ХХІ СТОЛІТТЯ» пропонують інше рішення: встановити в кожне вікно (горизонтально або вертикально) спеціальний шумозахисний вентиляційний клапан. Це може бути, наприклад, віконний провітрювач моделі «Аеромат 80». Такий прилад бере на себе відразу обидві функції: знижує рівень шуму і забезпечує вентиляцію. Причому надходження свіжого повітря можна регулювати за допомогою спеціального важеля механізму. Максимально досяжна величина припливу повітря визначає величину індексу R_w при 15 м³/год він становить 40 дБ, при 26 м³/год - 36 дБ і при 70 м³/год - 21 дБ. Ці ж функції може виконувати і припливний клапан Аерорас 60/90 фірми SIEGENIA. Він монтується в простінку поряд з вікном і подає зовнішнє повітря через ПВХ-короб, створюючи рівень власного шуму не вище 37 дБА.

На роботу вікна, що відкривається в значній мірі впливають такі фактори як тип віконного ущільнення і, відповідно - його притиск, що забезпечується системою фурнітури. На рис. 2.6 для порівняння наведені розрахункова частотна характеристика для одинарного скла, товщиною 6 мм, і характеристика того ж скла, але встановленого в розсувній системі «холодного скління», отримана експериментальним шляхом.

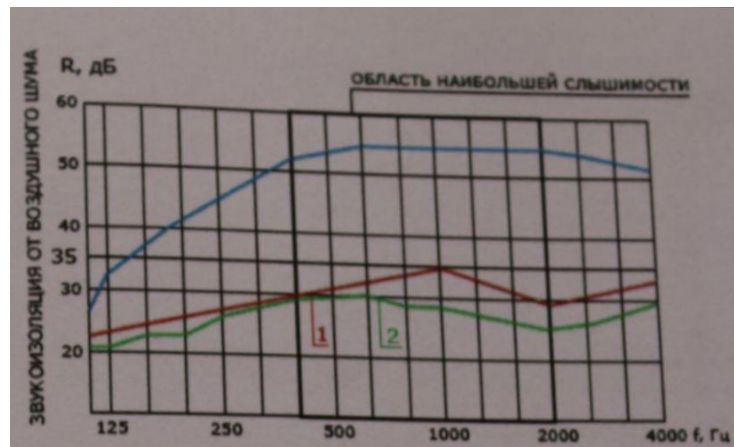


Рис. 2.6. Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму одинарним склом, товщиною $h = 6$ мм: 1 - розрахункова без урахування характеру закріплення, $R_w = 28$ дБ; 2 - експериментальна при установці в паралельно-розсувному вікні розміром 1228*1476 мм; розмір рухомої стулки 610*1418 мм, $R_w = 27$ дБ.

На рис. 2.6 показані частотні характеристики, отримані експериментальним шляхом для вікон із ПВХ двох типів: а) - повністю відкривається поворотно-відкидне вікно і б) - розсувне вікно того ж розміру. В обох вікнах встановлено однокамерний склопакет 4-12-4.

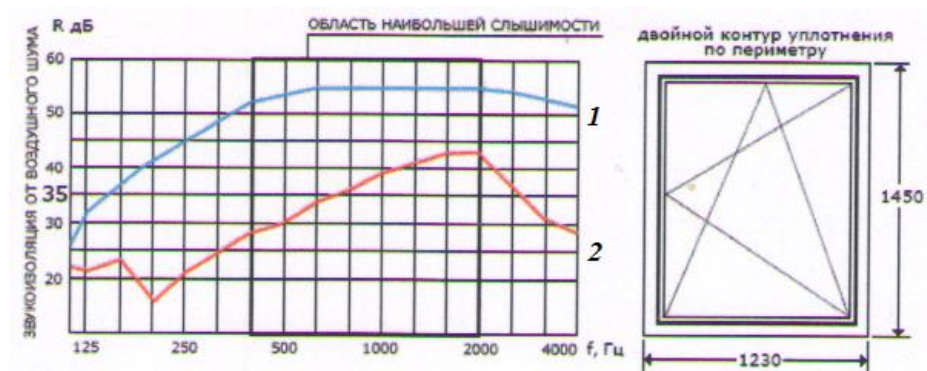


Рис. 2.6 а). Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму поворотно-відкидним ПВХ-вікном, яке повністю відкривається, розміром 1226*1447 мм з двома контурами гумового ущільнення по всьому периметру - $R_w = 33$ дБ.

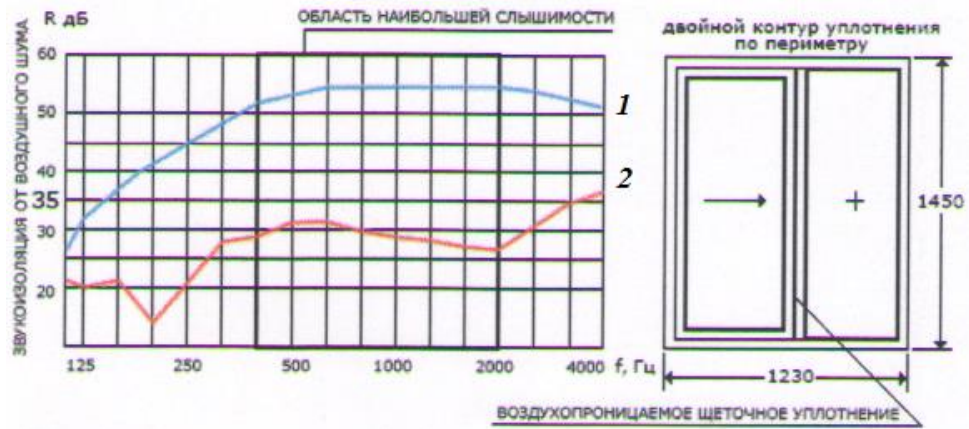


Рис. 2.6 б). Частотні характеристики ізоляції повітряного шуму розсувним ПВХ-вікном, розміром 1228*1476 мм; розмір рухомої стулки 610*1418 мм - два контури гумового ущільнення по периметру глухої і рухомої стулок; щіткове ущільнення між глухою і рухомою стулками - $R_w = 28$ дБ.

З рис. 2.6 видно, що теоретичні розрахунки світлопрозорих конструкцій, засновані виключно на розгляді роботи заповнення, не можуть з достатньою точністю характеризувати звукоізоляційні якості віконного блоку в цілому.

Дані, наведені на рисунку 2.6, говорять про те, що заповнення одного і того ж отвору вікнами, що мають різне відкривання, може дати дуже велику різницю в звукоізоляції (6 дБ в індексі R_w). З малюнка видно, що щіткове повітропроникне ущільнення, яке встановлюється в розсувних вікнах між рухомою і глухою частинами, різко погіршує роботу віконного блоку на найбільш чутних середніх частотах, за рахунок чого відбувається значне падіння його звукоізоляційних якостей в порівнянні з поворотно-відкидним вікном.

Як показують дані експериментальних досліджень, вікна з двокамерним склопакетом не мають практично ніяких переваг з точки зору звукоізоляції перед однокамерними. Оскільки в двокамерному склопакеті середнє скло, як правило, розміщено посередині між крайніми частинами скла, це скло не тільки не дає зростання звукоізоляції, але і може навіть

знизити її, оскільки в такій системі відбувається підвищення резонансної частоти в порівнянні з однокамерним склопакетом, до значень, максимально наближених до області найкращої чутності. Так, однокамерний склопакет 4-12-4 має резонансну частоту 250 Гц, а двокамерний 4-12-4-12-4 - 300 Гц. При цьому індекс ізоляції R_w двокамерного склопакета 4-12-4-12-4 складає всього лише 28 дБ.

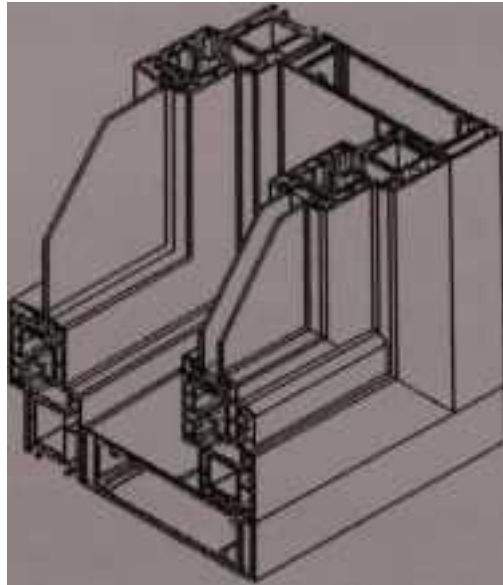


Рис. 2.7. Скло з додатковою стулкою в одне вікно

Значно вищі результати по вікнах, які мають три скла, можна отримати шляхом установки додаткової стулки з одинарним склом. Таке рішення застосовується більшістю виробників дерев'яних вікон в Фінляндії, а також реалізовано окремими виробниками профільних систем з ПВХ. В такому вікні за рахунок різниці повітряних проміжків між стеклами можна отримати оптимальну точку для резонансної частоти, що може дати значення індексу ізоляції R_w порядку 33-34 дБА. Це значення може бути підвищено до 39 дБА за умови збільшення повітряного проміжку між стулками, однак при цьому вікно буде вже дуже дорогим.

Серед факторів, що роблять деякий малоістотний вплив на підвищення звукоізоляції вікон, можна відзначити такі, як умови закріплення скла, використання ламінованого скла, конструкція віконного профілю, а також

заповнення внутрішніх камер склопакетів газами, швидкість поширення звукових хвиль в яких відмінна від повітря. Рациональне застосування кожного із зазначених заходів може дати підвищення індексу звукоізоляції приблизно на 1-1,5 дБА.

Балконні двері завжди розглядають як огорожу з неоднорідними шумоізоляційними властивостями по висоті. Шумоізоляцію нижньої, фільончастої частини забезпечують за аналогією з міжкімнатною перегородкою, а заклоєної верхньої - так само, як вікна [4,12 і 15]. Конструкції звукоізолюючих дверей, які найбільш часто зустрічаються наведені на рис. 2.8 - 2.10.

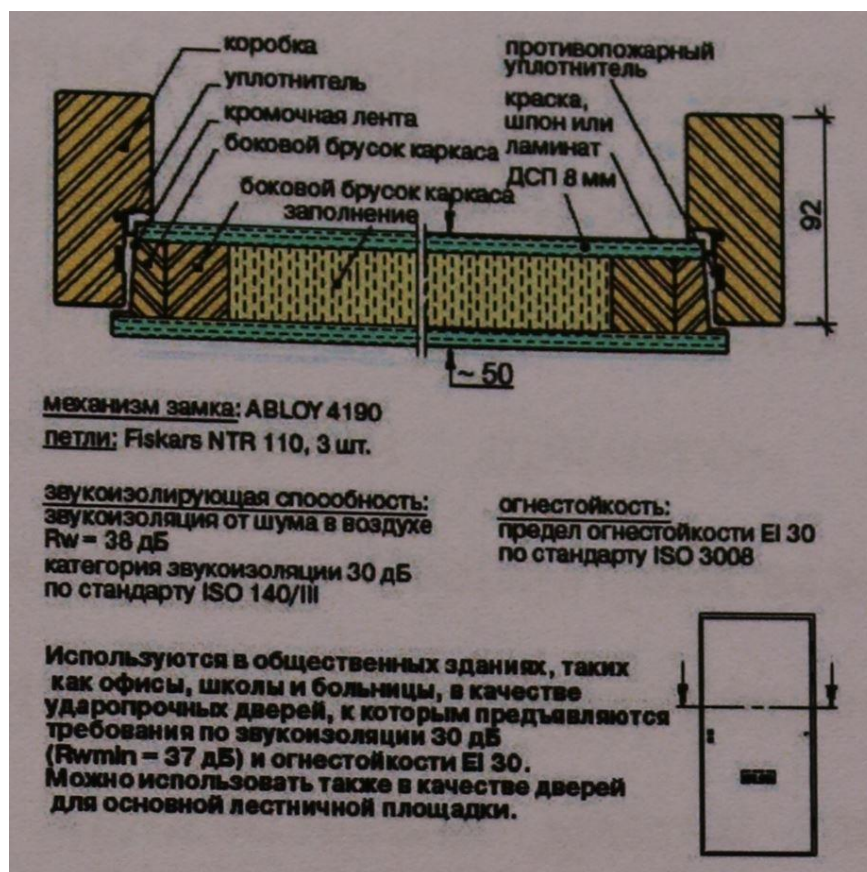


Рис. 2.8. Конструкция звукоізоляційної двері F6, EI 30/30 дБ

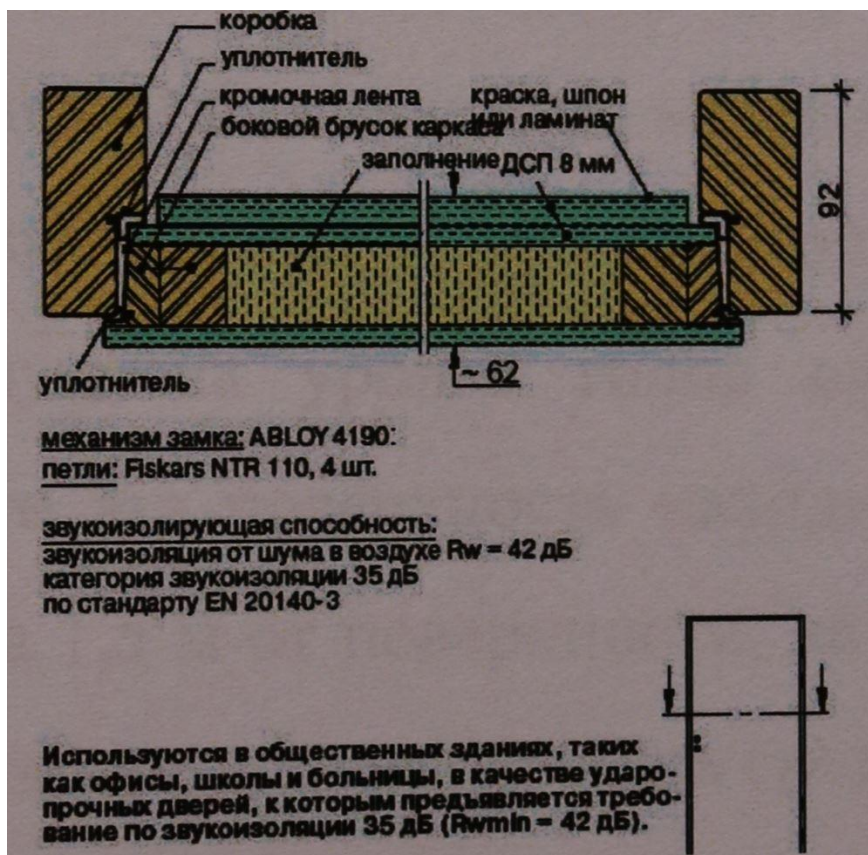


Рис. 2.9. Конструкция звукоизоляционной двери FE 35 дБ

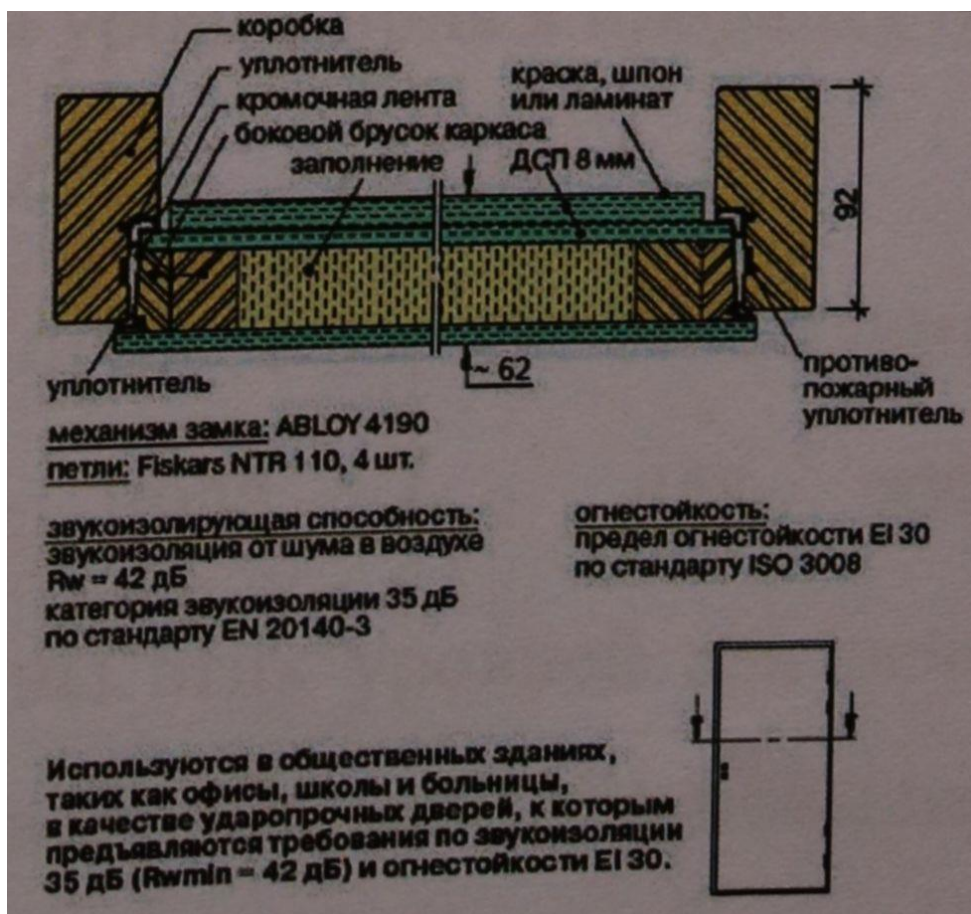


Рис. 2.10. Конструкция звукоизоляционной двери F7, EI 30/35 дБ

РОЗДІЛ 3. АКУСТИЧНИЙ ПРОЕКТ

Вихідні дані:

Досліджується приміщення прямокутної форми.

Розміри приміщення:

довжина 12 м

ширина 6 м

висота 3м.

Приміщення знаходиться на першому поверсі багатоповерхового будинку поблизу автомобільної дороги.

Приміщення розраховується для:

- кафе, в якому переважає музична програма
- лекційного залу, в якому переважає мовна програма
- офісу, в якому переважає мовна програма, але з малим оптимальним часом реверберації.

3.1. Первісна акустика приміщення

Одним з основних критеріїв акустичної якості залів є час реверберації. Чим більше приміщення, тим більше і середня довжина вільного пробігу звукової хвилі, а число відбивань менше, тобто процес загасання буде відбуватися повільніше. Для визначення часу реверберації в приміщенні необхідно визначити його об'єм, а також сумарну площу обмежуючих поверхонь, еквівалентну площу звукопоглинання, яка зазвичай визначається при 70% -му заповненні залів.

Розрахуємо загальне поглинання за формулою [7]:

$$A_0 = S_{\Sigma} \left(1 - \exp \left(\frac{V}{S_{\Sigma}} \left(4\mu - \frac{0.164}{T} \right) \right) \right) \quad (29)$$

де S_{Σ} - сумарна площа огорожувальних поверхонь

V - об'єм приміщення

μ - коефіцієнт поглинання в повітрі

T - час реверберації

$$V = 216(\text{м}^3)$$

$$S_{\Sigma} = 252(\text{м}^2)$$

Для кожного з матеріалів огорожувальних поверхонь підбираємо коефіцієнти поглинання на різних частотах. При цьому отримуємо значення фонду поглинання.

Результати зводимо в таблицю.

Таблиця 3.1.

		Частоти					
Назва	Площа	125	250	500	1000	2000	4000
Вікна	5,2	0,1	0,1	0,1	0,25	0,25	0,26
		0,52	0,52	0,52	1,3	1,3	1,352
Двері металопластикові	2,8	0,1	0,11	0,1	0,08	0,08	0,11
		0,28	0,308	0,28	0,224	0,224	0,308
Підлога (паркет на шпонках)	72	0,2	0,15	0,12	0,1	0,08	0,07
		14,4	10,8	8,64	7,2	5,76	5,04
Бетонна плита зі штукатуркою	100	0,012	0,013	0,017	0,02	0,023	0,025
		1,2	1,3	1,7	2	2,3	2,5
Підвісна стеля Ecophon	72	0,15	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05
		10,8	7,2	3,6	3,6	3,6	3,6
Поглинання в повітрі	216	0	0	0	0,0004	0,002	0,004
		0	0	0	0,0864	0,432	0,864
Загальне поглинання	252	27,2	20,128	14,74	14,4104	13,616	13,664
Тр (с.)		1,23	1,69	2,33	2,39	2,53	2,52

Побудуємо графік розрахованого часу реверберації в приміщенні з природною (первісної) акустикою.

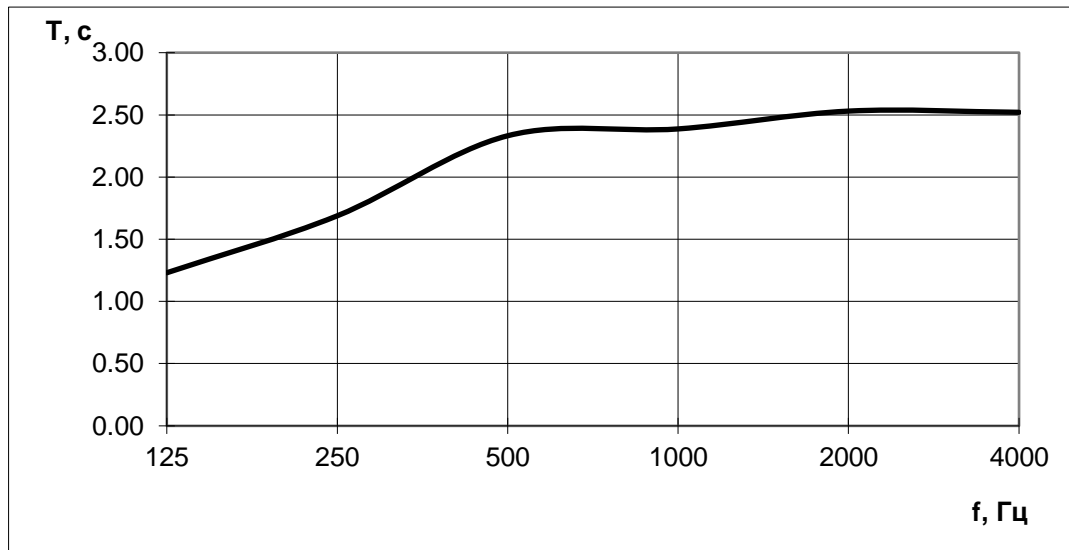


Рис. 3.1. Графік залежності часу реверберації від частоти

Як бачимо, з розрахунків, природна акустика приміщення не придатна ні для лекційного залу, ні для кафе і офісу. Тому для її виправлення будемо враховувати додатковий фонд поглинання, який залежить від призначення приміщення.

В даному приміщенні спочатку використана акустична підвісна стеля Ecorphon [11]. Це застосування дозволяє зробити невидимими, але при цьому доступними, різні інженерні системи та комунікації - вентиляційне та теплове обладнання, електричні та комп'ютерні розводки і т.д.

3.2. Акустический проект кафе

Для кафе переважною буде музична програма. Виходячи з цього, розрахуємо оптимальний час реверберації:

$$T_{opt} = 0.4 \cdot \lg V - 0.15 \quad (30)$$

$$T_{opt} = 0,78$$

Для музичних програм на низьких частотах оптимальний час реверберації збільшують в 1,5-1,6 раз. Зменшення в сторону низьких частот не допускається, тому що людський слуховий апарат гірше чує низькі частоти. На високих частотах підйом до 40% на частотах 2-4 кГц, тому що

високі частоти швидко заагасають і їх необхідно підтримати більш тривалим звучанням.

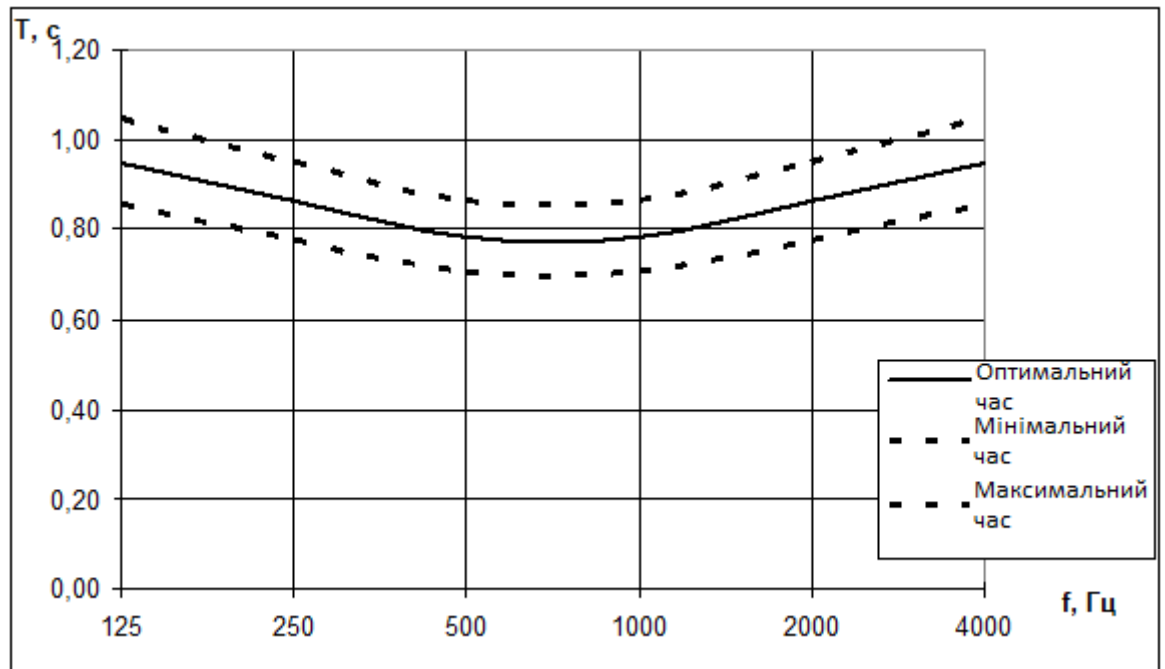


Рис.3.2. Межі оптимального часу реверберації

Відповідно до необхідного значення часу реверберації знайдемо граничні значення фонду поглинання в приміщенні за формулою (29) і побудуємо ці залежності.

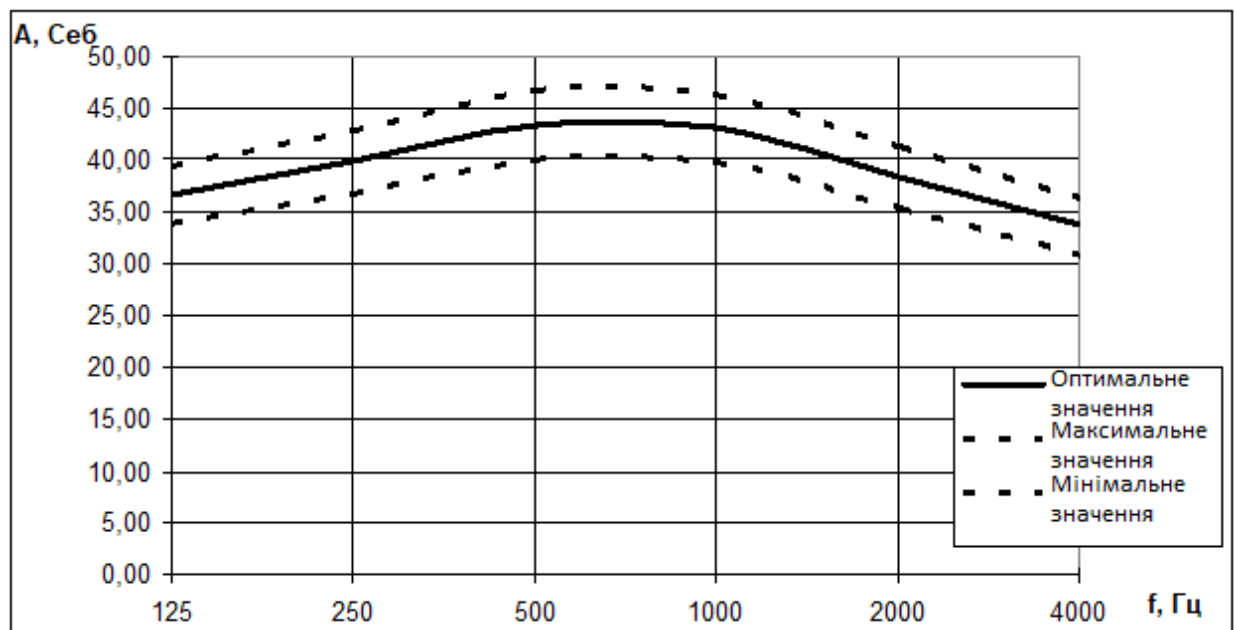
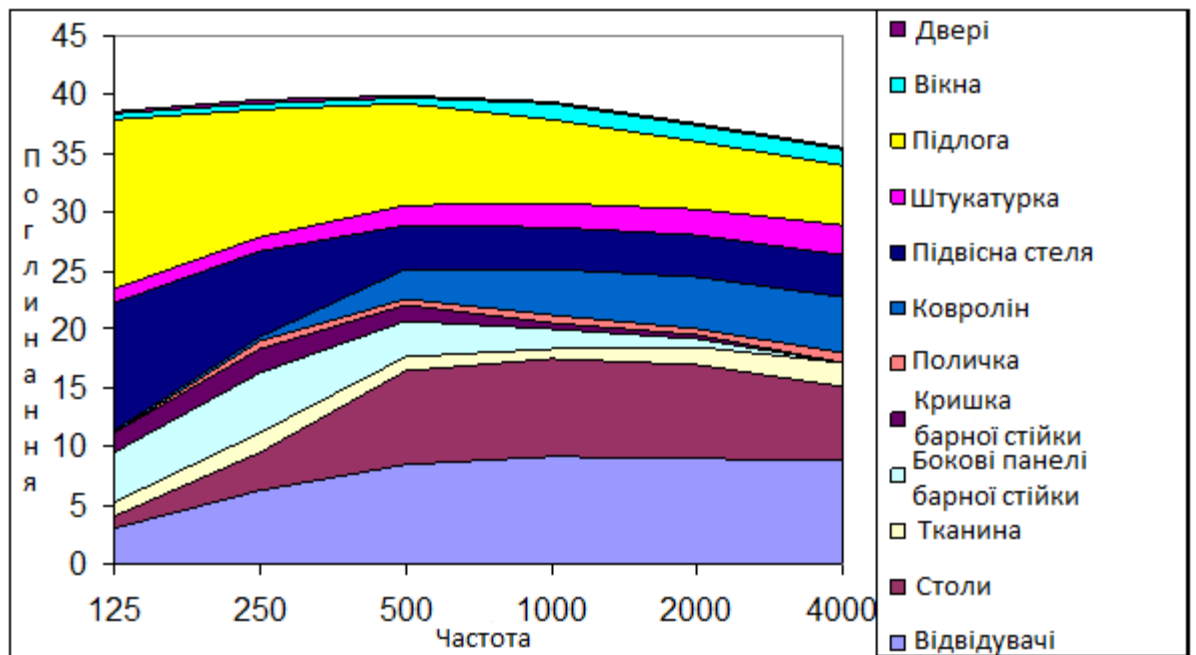


Рис.3.3. Граничні значення фонду поглинання в приміщенні

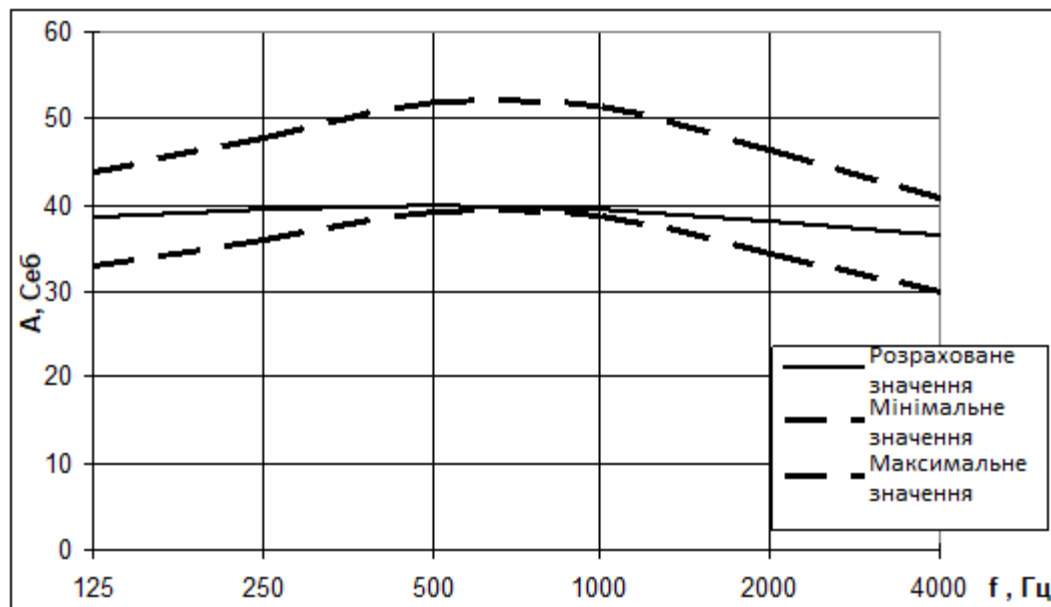
З огляду на особливості цільового призначення кафе, знайдемо фонд поглинання і зведемо результати в таблицю

Таблиця 3.2.

Назва	Площа	125	250	500	1000	2000	4000
Відвідувачі на стільцях	18	0,17	0,35	0,47	0,51	0,5	0,49
		3,06	6,3	8,46	9,18	9	8,82
Столи	9	0,12	0,35	0,89	0,92	0,89	0,7
		1,08	3,15	8,01	8,28	8,01	6,3
Тканина на вікнах	6	0,18	0,3	0,2	0,15	0,24	0,35
		1,08	1,8	1,2	0,9	1,44	2,1
Ковролін	8	0,02	0,05	0,32	0,48	0,54	0,6
		0,16	0,4	2,56	3,84	4,32	4,8
Полички над барною стійкою (ДСП 10мм)	6,8	0,01	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11
		0,068	0,612	0,612	0,612	0,612	0,748
Барна стійка: бічні панелі барної стійки (пластик) кришка барної стійки (пластик)	8	0,53	0,64	0,39	0,2	0,09	0
		4,24	5,12	3,12	1,6	0,72	0
	3,2	0,53	0,64	0,39	0,2	0,09	0
		1,696	2,048	1,248	0,64	0,288	0
ДФП		11,384	19,43	25,21	25,052	24,39	22,77
ОФП+ДФП		38,584	39,558	39,95	39,4624	38,006	36,43
Тр (с.)		0,85	0,82	0,81	0,83	0,86	0,90
Топт (с.)		0,95	0,86	0,78	0,78	0,86	0,95



а)



б)

Рис.3.4. Графік сумарного фонду поглинання а) - отримані дані фонду поглинання;
б) - необхідні межі сумарного фонду поглинання

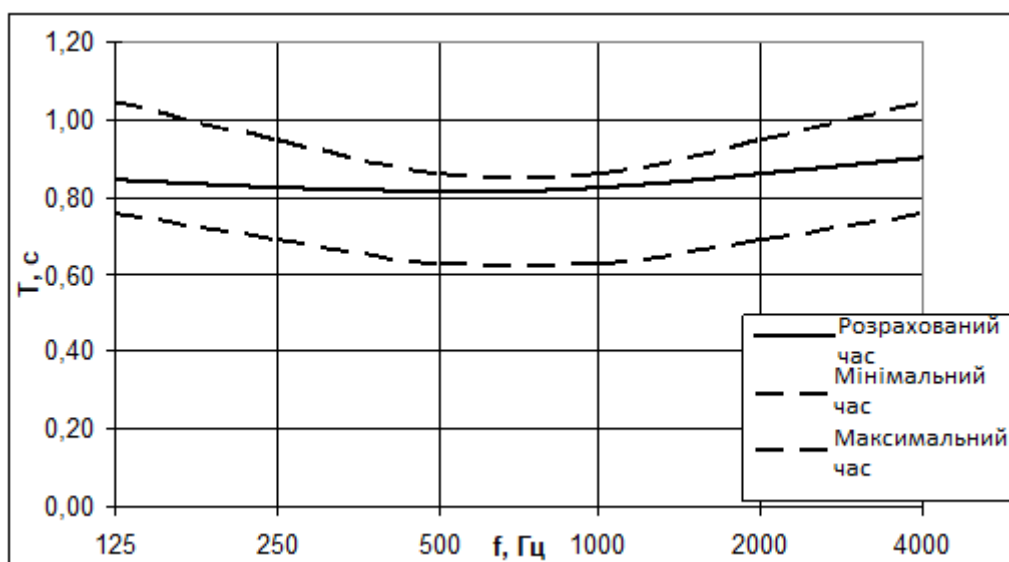


Рис.3.5. Графік часу реверберації в кафе

З виконаних розрахунків бачимо, що розрахований час реверберації знаходиться в межах допустимих норм, а тому цей розрахунок є задовільним.

У приміщенні багато меблів, яка впливає на фонд поглинання. Монтаж паркету повинен бути виконаний з "розв'язкою" зі стінами будівлі. Такий тип монтажу здійснюється за допомогою методу, який називається "акустичний шов". Він виконується за допомогою бітумних мастик, які не передають механічні коливання від статі до стін. Важливим елементом в приміщенні є стеля. Він виконаний по спеціальній конструкції, яка полягає в "розв'язці". Це дозволить зменшити вплив від роботи розважального закладу. Через двері буде проникати шум в середину приміщення. Так що потрібно застосувати подвійні металопластикові двері, які будуть забезпечувати надійну шумоізоляцію від навколишнього середовища (справа в тому, що вихід веде до магістральної вулиці з інтенсивним рухом).

3.3. Акустичний проект офісу

Забезпечення акустичного комфорту постає особливо гостро, якщо в офісних приміщеннях багато робочих місць, розташованих в безпосередній близькості один від одного.

В останні роки ділова активність в офісах тільки збільшується: часто відразу кілька людей в кімнаті ведуть переговори по телефону, в той час як інші там же приймають клієнтів. А якщо додати до цього підвищений рівень шуму від великої кількості оргтехніки, яка є практично в будь-якому офісному приміщенні, - то можна уявити, в якому звуковому супроводі доводиться працювати співробітникам більшу частину робочого часу.

Так як в офісі велику кількість людей одночасно ведуть переговори, то оптимальний час реверберації має бути порівняно не великим. Рекомендований оптимальний час реверберації 0,5-0,6 сек [12]. Розрахуємо його:

В даному приміщенні переважною є мовна програма.

$$T_{opt} = 0.3 \cdot \lg V - 0.15 \quad (31)$$

$$T_{opt} = 0,55(c)$$

У приміщенні частотна залежність часу реверберації матиме вигляд прямої, але з завалом на нижніх і верхніх частотах. Аналогічно розрахуємо фонд поглинання в приміщенні внісши акустичні корективи в зв'язку з застосуванням приміщення.

Таблиця 3.3

Назва	Площа	125	250	500	1000	2000	4000
Люди	20	0,17	0,35	0,47	0,51	0,5	0,49
		3,4	7	9,4	10,2	10	9,8
Столи	9	0,12	0,35	0,89	0,92	0,89	0,7
		1,08	3,15	8,01	8,28	8,01	6,3
Акустичні стінові панелі Knauf (Німеччина) 400 мм	24	0,9	0,8	0,55	0,38	0,35	0,3
		21,6	19,2	13,2	9,12	8,4	7,2
Жалюзі	6	0,3	0,4	0,11	0,17	0,24	0,35
		1,8	2,4	0,66	1,02	1,44	2,1
Акустичні стінові панелі Isover Ecophon 200 мм	24	0,05	0,11	0,4	0,71	0,95	0,97
		1,2	2,64	9,6	17,04	22,8	23,28
Полички (пластик 200 мм)	10	0,71	0,66	0,37	0,17	0,03	0
		7,1	6,6	3,7	1,7	0,3	0
ДФП		36,18	40,99	44,57	47,36	50,95	48,68
Топт		0,45	0,50	0,55	0,55	0,50	0,45
Тр		0,49	0,51	0,52	0,50	0,47	0,49

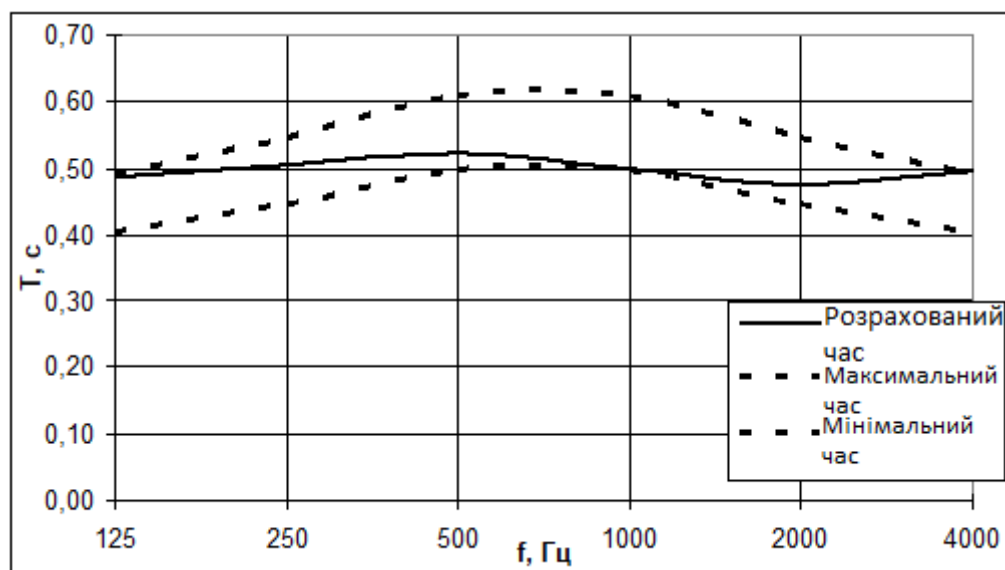


Рис. 3.6. Графік отриманого часу реверберации

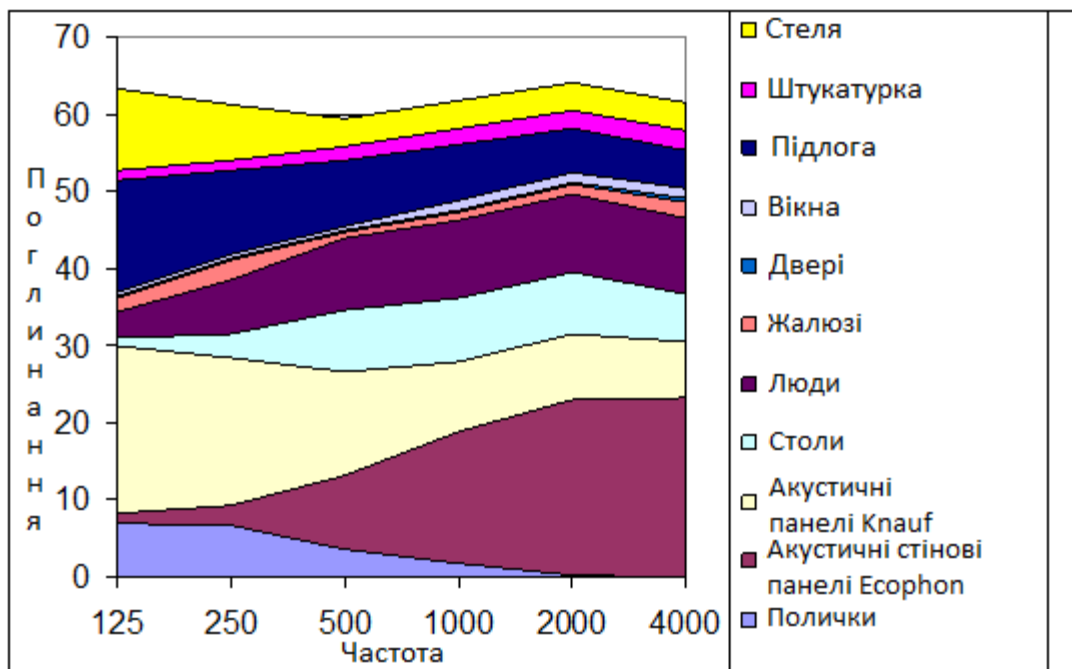


Рис.3.7. Графік сумарного фонду поглинання

Для досягнення такого малого часу реверберації були задіяні площі більші, ніж стеля. Крім підвісного звукопоглинаючої стелі, були застосовані стінові акустичні панелі, які також мають дуже високі характеристики звукопоглинання. Це шведські панелі "Ecorphon" с мікропористим забарвленням. Так як в приміщенні застосовуються офісні перегородки заввишки трохи нижче людського зросту, то акустичні стінові панелі застосовуються для облицювання таких перегородок-екранів, щоб підвищити ефект звукоізоляції між кабінами [11].



Рис. 3.8 Приклад облицювання акустичними стіновими панелями

Також в приміщенні застосовані плити перфоровані гіпсокартонні звукопоглинаючі марки Knauf Cleaneo Akustik. Матеріал являє собою плити з гіпсокартонних листів з перфорацією і наклеєним на тильну сторону підстилаючих шаром з нетканого полотна. Лицьова сторона пофарбована водно-дисперсійними фарбами. Звукопоглинальні властивості плити надають отвори певного діаметру, розташовані з частотою, що забезпечує необхідний відсоток перфорації. Отвори служать в якості резонаторів, в яких гаситься енергія звукової хвилі. Матеріал є чудовим поглиначем в області низьких частот, що дуже важливо при роботі техніки в офісі.

3.4. Акустичний проект лекційного залу

Основним критерієм оцінки акустичних умов лекційних залів служить розбірливість мови, яка безпосередньо пов'язана з часом реверберації. Знайдемо оптимальне значення часу реверберації:

$$T_{opt} = 0.3 \cdot \lg V - 0.05 \quad (32)$$

$$T_{opt} = 0,65(c)$$

У приміщенні частотна залежність часу реверберації матиме вигляд прямої, але з завалом на нижніх і верхніх частотах. Аналогічно розрахуємо фонд поглинання в приміщенні внісши акустичні корективи в зв'язку з застосуванням приміщення.

Таблиця 3.4

Назва	Площа	125	250	500	1000	2000	4000
Сидячі слухачі 70%	20		0,17	0,35	0,47	0,51	0,5
			3,4	7	9,4	10,2	10
Вільні стільці	9		0,02	0,035	0,047	0,051	0,05
			0,18	0,315	0,423	0,459	0,45
Тканина на вікнах	6		0,18	0,3	0,2	0,15	0,24
			1,08	1,8	1,2	0,9	1,44
Акустичні стінові панелі Knauf на віднесенні 400 мм	20		0,9	0,8	0,55	0,4	0,35
			18	16	11	8	7
Ковролін	8		0,02	0,05	0,32	0,48	0,54
			0,16	0,4	2,56	3,84	4,32
Акустичні стінові панелі Armstrong марка Ultima 19 мм	15		0,35	0,37	0,65	0,8	0,9
			5,25	5,55	9,75	12	13,5
ОФП+ДПФ		55,27	51,193	49,073	49,8094	50,326	50,614
Топт (с.)		0,59	0,59	0,65	0,65	0,59	0,59
Тр (с.)		0,57	0,62	0,65	0,64	0,63	0,63

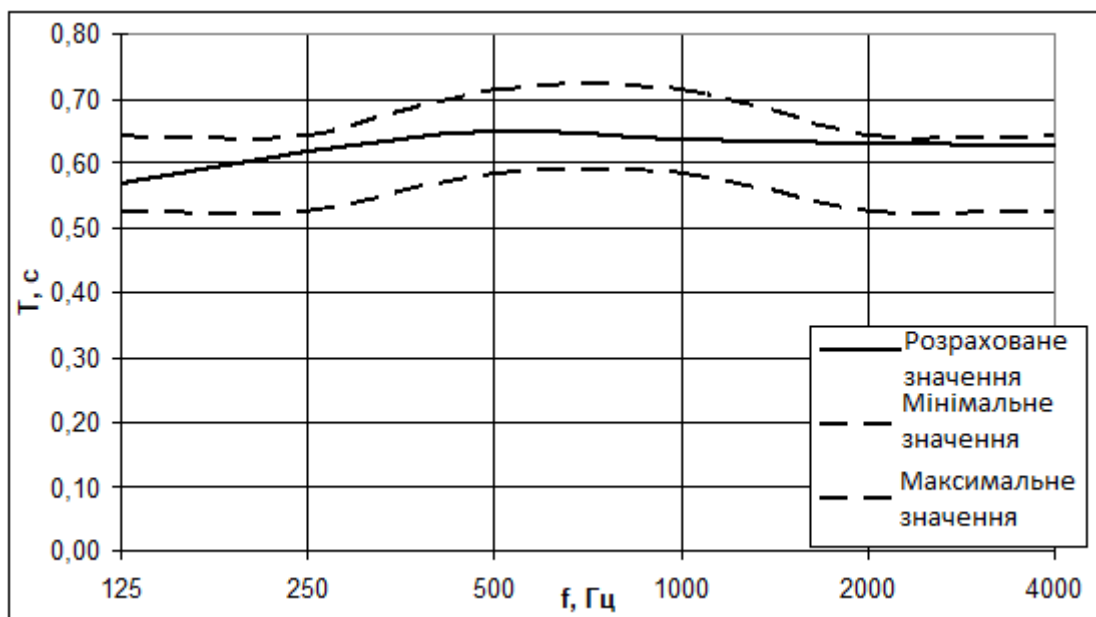


Рис.3.9. Час реверберації

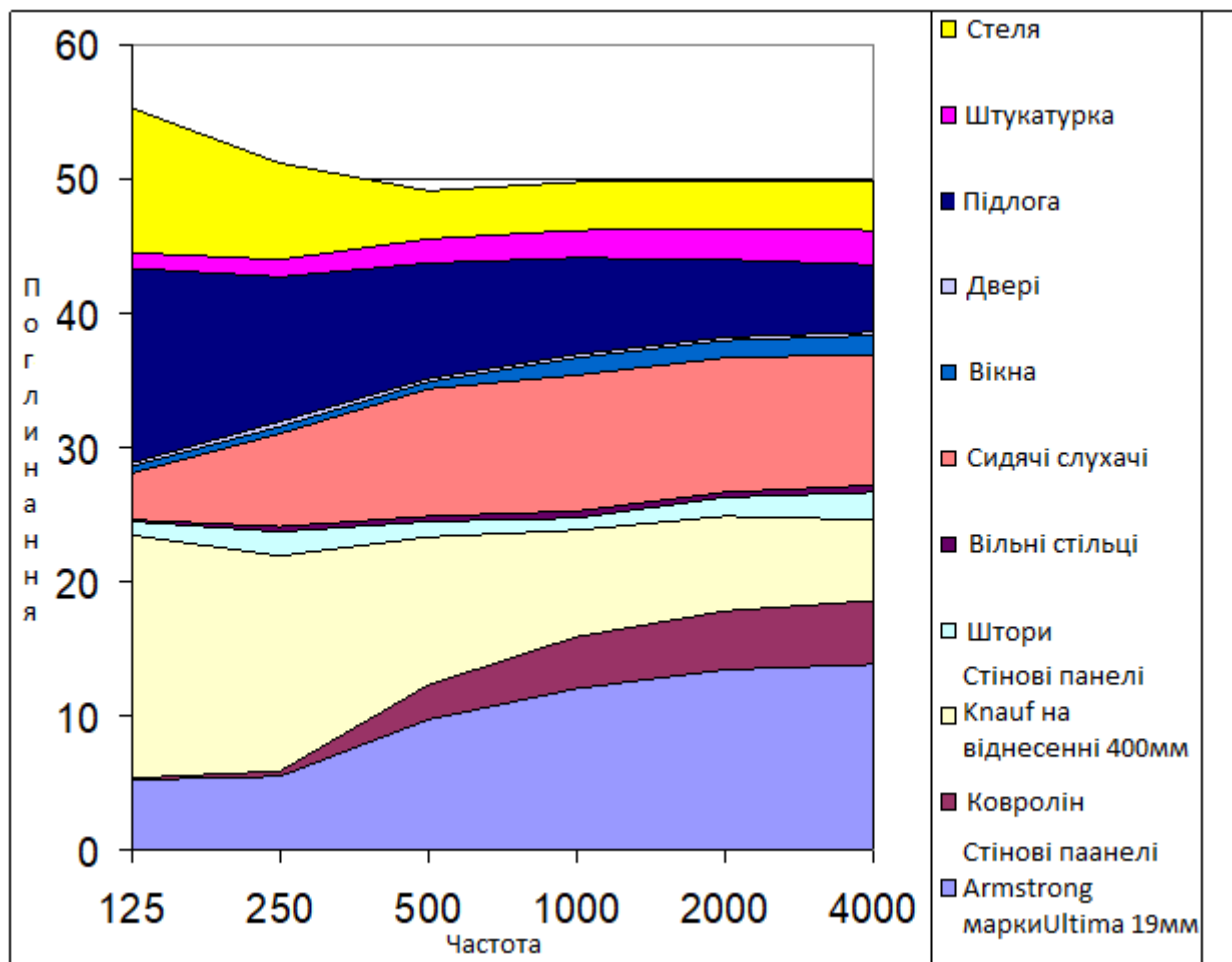


Рис.3.10. Сумарний фонд поглинання

Як бачимо з отриманих результатів, розрахований час реверберації потрапляє в допустимі значення.

3.5. Звукоізоляція приміщень

Приміщення знаходиться на першому поверсі житлового будинку.

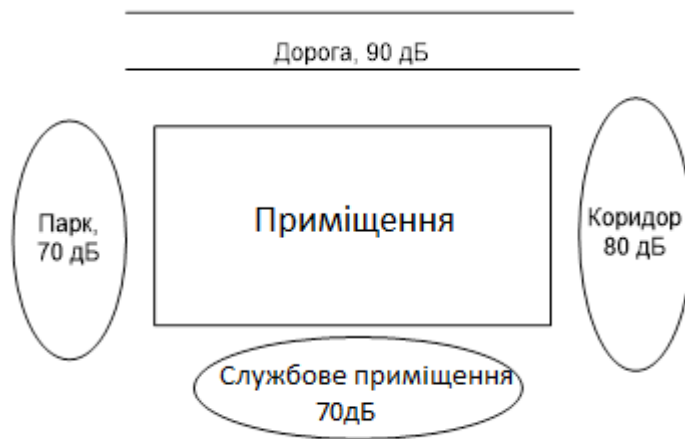


Рис.3.11. Місцезнаходження приміщення

Передня стіна виконана цегляною кладкою 52 см, власна ізоляція якої дорівнює 59 дБ. За нею знаходиться магістраль (дорога), рівень шуму якої 90 дБ. Металопластикові двері та вікна мають власну ізоляцію 45 дБ і 25 дБ відповідно. Решта стіни виконані з цегляної кладки 40 см і мають 55 дБ власну ізоляцію. Підвісна стеля - 59 дБ

Виходячи з розташування приміщення визначимо за довідковими даними [7] рівні типових джерел шуму. Виходячи з призначення приміщення допустимий рівень шуму в ньому 40 дБ і порівняємо фактичний рівень шуму і розрахований за формулою:

$$L_{\phi} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^N S_i 10^{0,1(L_i - \tau_i)} \right) - 10 \lg A \quad (33)$$

де S_i - площа всіх перегородок, τ_i - значення власної звукоізоляції відповідних ділянок, L_i - рівні джерел шуму, A - значення фонду поглинання.

Розрахуємо звукоізоляцію на частоті 500 Гц і занесемо дані в табл.3.5.

Таблиця 3.5.

Назва перегородки	Рівень джерела	Площа	Власна ізоляція	$S_i \cdot 10^{0.1(L_i - \tau_i)}$
Стіна (цегляна кладка 52 см)	90	33,2	59	41796,32
Двері	90	2,8	45	88543,7
Вікна	70	5,2	25	164438,4
Стіна (цегляна кладка 40 см)	70	12,8	55	404,77
Стіна	80	36	55	11384,2
Стіна	70	18	55	569,21
Підвісна стеля	50	72	59	9,06
			Сума	307145,78

Знайдемо фактичну звукоізоляцію для лекційного залу:

$$L_\phi = 37.97(\text{дБ});$$

$$\text{- кафе } L_\phi = 37.14(\text{дБ});$$

$$\text{- офісу } L_\phi = 38.86(\text{дБ})$$

Розрахований рівень фактичної звукоізоляції не перевищує допустимого значення.

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ

«Проект багатоцільового приміщення для масових заходів»

Стартап являє собою проектування приміщення, яке буде знаходитись на першому поверсі житлового будинку, під різні сфери його діяльності, такі як кафе, офіс або лекційна зала. Проект призначений для формування рекомендацій відносно форми приміщення та акустичних властивостей поверхонь для забезпечення високої якості звучання та забезпечення в приміщенні необхідної звукоізоляції.

Актуальність проекту:

- На даний момент в нашій країні не велика кількість забудовників звертають увагу на інтер'єрну акустику приміщення при будівництві.
- Зростаюча кількість використання приміщень першого поверху житлових будинків під комерційну діяльність, які необхідно переобладнувати під час ремонту відповідними матеріалами для забезпечення оптимальних акустичних умов в приміщенні та в квартирах, які є сусідніми через стіну чи стелю.

Які проблеми ринку вирішує продукт стартапу:

- Зменшення рівня шуму в приміщенні.
- Ізоляції приміщень від проникаючих ззовні звуків.
- Внутрішньої звукоізоляції приміщення, для комфортного проживання мешканців житлового будинку.
- Якості сприйняття та розуміння мови в приміщенні.
- Акустичні підвісні стелі та стіни з акустичних матеріалів дозволяють зробити прихованими, але при цьому доступними, різні інженерні системи та комунікації - вентиляційне та теплове обладнання, електричні та комп'ютерні розводки і т.д.

Аналіз ринку: конкуренти, їх продукція, в чому переваги і недоліки продукції конкурентів.

Конкуренти:

В Україні існує одна компанія, яка має назву:



Але дану компанію можна вважати конкурентом частково, адже даний сервіс пропонує вирішення проблем з шумом лише в житлових квартирах та домах(саме для комфортного проживання людей). А в даному стартапі розглядається проект багатоцільового приміщення для масових заходів, яке може використовуватися для різних призначень.

Основною перевагою даної компанії, на мою думку, є те, що вона наразі є єдиною в даному сегменті.

Недоліки:

- Працюють тільки з житловими приміщеннями.
- Високі ціни, за рахунок того, що немає конкурентів і, відповідно, інших пропозицій.

Сутність ідеї стартапу.

Ідеологія полягає у врахуванні акустичних якостей і параметрів приміщення(таких як розрахунки фонду поглинання і часу реверберації), зовнішніх факторів звуку. Далі на основі зібраних даних підбираються необхідні матеріали відповідно до призначення приміщення.

Хто є споживачами продукції і в чому полягає ціннісна пропозиція

Споживачі:

- Будівельні підприємства.
- Власники нерухомого майна.
- Орендатори приміщень.
- Власники компаній, яким необхідні оптимальні акустичні умови в офісних приміщеннях.

Ціннісна пропозиція:

- Захист людей в приміщенні від впливу шуму.
- Турбота про мешканців сусідніх житлових квартир в будинку.

Заходи маркетингового просування продукції проекту:

- Виставки.
- Гранти.
- Реклама на сайтах(в магазинах) з продажу акустичних матеріалів.
- Реклама на сайтах(в магазинах) монтажних виробів, ремонтних послуг.
- Реклама на YouTube.

Канали збуту продукції.

Прямі канали збуту (директ маркетинг - та інтернет-маркетинг):

- Державні та приватні підприємства.
- Залучення іноземних інвесторів (країни Європи)

Підведення проміжних підсумків.

В даному розділі було розроблено перший етап створення стартап-проекту. Кожна наукова робота повинна знаходити своє місце в застосуванні у реальному житті, тому стартап-проект може бути практичним відображенням наукової праці.

Спочатку було висвітлено зміст ідеї проекту. Для цього було розглянуто актуальність проекту на сьогоднішній день, вирішення проблем за допомогою даного проекту.

Далі було проведено аналіз ринку конкурентів та їх пропозицій. Врахувавши переваги і недоліки продукції конкурентів, можна зробити висновок про подальше успішне втілення проекту в життя.

Для уникнення провалу проекту, потрібно провести потужну рекламну кампанію, в якій донести до споживача усі переваги даного проекту, та необхідність обрати саме запропонований продукт.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації було запропоновано приміщення для багатоцільового використання, а саме для кафе, для лекційного залу, офісу. Для цього були підібрані оздоблювальні матеріали відповідно до призначення приміщення, а також проведені розрахунки фонду поглинання і часу реверберації, які знаходяться в межах оптимальних допустимих значень. Розраховані значення дозволяють домогтися якісного звучання музики, якщо приміщення використовується для кафе; достатньої розбірливості мови, коли приміщення буде використано як лекційну залу. Якщо ж дане приміщення використовувати як офіс, то в магістерській дисертації були проведені розрахунки фонду поглинання і часу реверберації, виходячи з яких було запропоновано нанести акустичні стінові панелі на перегородки між робочими місцями для поглинання шуму.

Звукоізоляція приміщення від зовнішніх шумів є задовільною, так як вона менше допустимого значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Акустика: Справочник / под ред. М.А. Сапожкова. - М.: Радио и связь, 1989.-336 с
2. Дідковський В.С., Луньова С.А. Основи архітектурної та фізіологічної акустики. – К.: Аванпостприм. – 2001. - 422с.
3. С.Д. Ковригин. Архитектурно-строительная акустика : учеб. пособие для студентов строит. спец. вузов - М. : Высш. шк., 1980. - 184 с.
4. Электроакустика и звуковое вещание / Под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Горячая линия - Телеком . – 2007. - 872 с.
5. Фурдурев В.В. Электроакустика. - М.-Л.: ОГИЗ-ГИТТЛ. 1948.-517 с.
6. Контюри Л. Акустика в строительстве. - М.: Стройиздат, 1960.-286 с.
7. Акустичний розрахунок приміщень. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни “Прикладна акустика” для студентів спеціальності “Акустичні засоби і системи” всіх форм навчання / Уклад.: С.А. Лунева, В.Т. Мацапура. - Київ: НТУУ “КПІ”, 2006.- с.51
8. Справочник по защите от шума и вибраций жилых и общественных зданий/ Под редакцией Заборнова В.И. – К: Будівельник. – 1989. - 305с
9. Снижение шума в зданиях и жилых районах /Под редакцией Осипова Г.А. и Юдина Е.Я. – М.: Наука. - 1987. - 218с
10. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция.– Л.: Судостроение.- 1986. - 295с
11. Современные акустические материалы. Электронный ресурс: <http://acoustic.ua>
12. Боганик А.Г. Звук, рожденный офисом //Современный офис – 2005. - N2.
Электронный ресурс http://www.acoustic.ru/ref_book/articles/room/5/